

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__» _____ 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою

«Радіотехнічні інформаційні технології»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Радіолокаційна система попередження зіткнення об'єктів на-
земного та водного транспорту»**

Виконав:

студент IV курсу, групи РТ-г61-1

Кайдаш Антон Станіславович _____

Керівник:

Ст. викладач

Чмельов В'ячеслав Орійович _____

Консультант з охорони праці:

К.б.н., доцент

Гусєв Аркадій Миколайович _____

Рецензент:

ст.викл. Адаменко В.О. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

				ДП РТ61.464522.001		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Розробн.	Кайдаш А.С.				1	1
Керівн.	Чмельов В.О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РТПС Гр. РТ-г61-1	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.						

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проєкту

на тему: «Радіолокаційна система попередження зіткнення об'єктів наземного та водного транспорту»

Київ 2020 року

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт включає в себе вивчення сучасних РЛС та розробку РЛС попередження зіткнення для наземних та водних транспортів.

Метою проєкту є розробка узагальненої схеми та визначення основних параметрів РЛС попередження зіткнення.

Для досягнення поставленої мети було проаналізовано сучасні РЛС попередження зіткнення транспортних засобів, що побудовані на різних фізичних принципах, їх переваги та недоліки. Також було здійснено аналіз ТЗ, зроблено структурну схему РЛС та спеціальний передавач на частоті 5,5 ГГц.

Ключові слова: РЛС попередження зіткнення, транспортні засоби, радар, ефект Доплера.

ANNOTATION

The diploma project includes the study of modern radars and the development of collision prevention radars for land and water transport.

The purpose of the project is to develop a generalized scheme and determine the basic parameters of the collision prevention radar.

To achieve this goal, modern radar collision prevention radars based on different physical principles, their advantages and disadvantages were analyzed. The analysis of the vehicle was also performed, the structural scheme of the radar and a special transmitter at the frequency of 5.5 GHz were developed.

Key words: collision prevention radar, vehicles, radar, Doppler effect.

ЗМІСТ

Анотація	4
Перелік скорочень.....	2
Вступ.....	3
1 СУЧАСНІ РЛС ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ.....	5
1.1 РЛС попередження зіткнення транспортних засобів	6
1.2 РЛС попередження зіткнення, що побудовані на різних фізичних принципах.	17
2 ОСНОВИ СИНТЕЗУ РЛС ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ НА ЕФЕКТІ ДОПЛЕРА.....	20
2.1 Теоретичні основи РЛС виявлення рухомих об'єктів на ефекті Доплера.....	20
2.1.1 Вивід формули для частоти Доплера:.....	22
2.1.2 Нормована частота Доплера:	23
2.2 Підходи та особливості побудови РЛС на ефекті Дроплера.	23
2.3 Шляхи забезпечення моніторингу контрольованої зони навколо об'єкту.	28
3 РОЗРОБКА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РЛС ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ.....	30
3.1 Розробка структурної схеми РЛС попередження зіткнення.	30
3.1.1 Обґрунтування, вибір і розрахунок технічних характеристик РЛС.	32
3.1.2 Опис узагальнених структурних схем РЛС	34

					РТ61.464522.001 ПЗ			
ЗМ	Лист	№ докум	Підпис	Дата	РЛС попередження зіткнення наземного та водного транспорту	Літ	Лист	Листів
Розроб-	Кайлаш						1	
Переві-	Чмельов							
Ч Кошт	ПІБ							
Затвер-	ПІБ					РТ-г61-1 РТФ		

3.2 Основні параметри та управління роботою антенної системи ФАР.	36
3.3 ФАР для РЛС попередження зіткнення водного транспорту.....	41
3.4 ФАР для РЛС попередження зіткнення автомобільного транспорту.....	45
3.5 Параметричний синтез передавача РЛС попередження зіткнення з частотою сигналу 5,5 ГГц.....	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56
4.1 Перелік основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів при виконанні досліджень.....	56
4.2 Основні технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.	59
4.2.1 Відповідність параметрів виробничого приміщення санітарним нормам.....	59
4.2.2 Відповідність рівня освітленості робочої зони санітарним нормам.....	59
4.2.3 Відповідність санітарним нормам параметрів мікроклімату в робочій зоні.....	61
4.2.4 Відповідність електробезпеки відповідним нормам.	62
4.3 Пожежна безпека та профілактика.....	63
Висновки	65
Перелік джерел посилань	66
Додаток А.....	68

					РТ61.464522.001 ПЗ				
ЗМ	Лист	№ докум	Підпис	Дата	РЛС попередження зіткнення наземного та водного транспорту	Літ		Лист	Листів
Розроб-	Кайлаш							1	
Переві-	Чмелюв								
						РТ-г61-1 РТФ			
Н Коштр	ПІБ								
Затвер-	ПІБ								

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

РЛС — Радіолокаційна система

ТЗ — Транспортні засоби

АКК — Адаптивний круїз-контроль

PSS — Predictive Safety System

ДСА — Діаграма спрямованості антени

SRR— Short-Range Radar

РПЗ— Радіолокатори попередження зіткнення

LRR— Long Range Radar

MRR — Medium Range Radar

АР — Автомобільні радари

КСХ — Коефіцієнт стоячої хвилі

ФАР — Фазована антенна решітка

МСЛ — Мікросмужкова лінія

					<i>PT61.464522.001 ПЗ</i>	Лист
						2
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі радіолокація отримала широке застосування. Її методи та засоби використовуються для виявлення об'єктів і контролю обстановки в повітряному, космічному, наземному і надводному просторах, використовуються в метеорології і розвідці корисних копалин. Сучасна техніка дозволяє з великою точністю вимірювати координати положення цілей, стежити за їх рухом, визначати не тільки форми об'єктів, але і структуру їх поверхні. Не кажучи вже про використання радіолокації в астрономії. І з кожним днем радіолокація знаходить все нові і нові застосування в житті людини. Це і на дихнуло мене на створення радіолокаційної системи виявлення рухомих об'єктів для наземних та водних транспортів.

У дипломному проєкті проведено розрахунок основних параметрів РЛС попередження зіткнення наземних та водних транспортів.

Розглянута антенна система радарної системи у вигляді фразованої антенної решітки (ФАР), та створений передавач, що побудований на сучасний польових транзисторах з високою рухливістю електронів типу НЕМТ та прямих відгалужувачів, що дозволять добитись гарну потужність на виході передавача.

Отже об'єкт дослідження: попередження зіткнення рухомих об'єктів наземного та водного транспорту.

Предмет дослідження: багатофункціональна РЛС попередження зіткнення рухомих об'єктів.

Мета: розробка схеми РЛС попередження зіткнення та визначення основних її параметрів.

Для досягнення поставленої мети, потрібно виконати комплекс завдань:

1. Розглянути сучасні РЛС попередження зіткнення транспортних засобів.
2. Дослідити РЛС попередження зіткнення, що побудовані на різних фізичних принципах.

3. Вивчити теоретичні основи РЛС виявлення рухомих об'єктів на ефекті Доплера.
4. Розглянути підходи та особливості побудови РЛС на ефекті Доплера
5. Проаналізувати шлях забезпечення моніторингу контрольованої зони навколо об'єкту
6. Розробка структурної схеми РЛС попередження зіткнення.
7. Визначення основних параметрів ФАР.
8. Параметричний синтез передавача РЛС попередження зіткнення з несучою частотою сигналу 5,5 ГГц.

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 СУЧАСНІ РЛС ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ

У ХХ столітті, в головах вчених почали назрівати питання про застосування радарів і радарних систем в автомобілях та інших транспортних засобах. Головною метою таких систем стало б запобігання автомобільних аварій, зіткнення кораблів при швартуванні, тощо. Проте, це лише один із кроків створення «розумного транспорту», що не потребує водія, розбурхує фантазію вчених й до сьогодні. В сучасному світі, автомобілі, судна відіграють важливу роль в повсякденному житті людини. За допомогою автомобілів, ми економимо багато часу на пересування, а кораблі створюють найдешевший спосіб транспортування продукції з інших материків нашої планети. З розвитком людства, ми починаємо відкривати нові технології, які полегшують наше повсякденне життя. Радіолокаційна системи виявлення рухомих об'єктів для наземних та водних транспортів, допоможе водіям у паркуванні машини, попередити про наближення автомобіля до рухомого або нерухомого об'єкту, що покращить ситуацію з аваріями на дорогах, допоможе суднам краще орієнтуватись у водному просторі. Однією з головних причин збільшення кількості нещасних випадків є обмежена оптична видимість, викликана наявністю дощу, туману, снігу, диму, пилу тощо. Ця ситуація серйозно загострюється в осінній і весняний періоди для ділянок доріг зі складним рельєфом з різкими (в десятки метрів) перепадами висот, особливо в країнах з великою щільністю дорожнього руху. Тому проблема забезпечення безпечного руху транспортних засобів в умовах обмеженої оптичної видимості є надзвичайно актуальною.

З водним транспортом окремо хотілось виділити виконання морських швартових операцій. Ця проблема найбільш актуальна на сучасному етапі, яка вирішується впровадженням сучасних технічних систем РЛС, які допоможуть безпечніше пришвартувати судно, забезпечити безпечну навігацію.

Розвиток технологій створення інформаційних датчиків і мікроконтролерів наблизили поширення інтелектуальних систем безпеки руху ТЗ, до яких відносяться системи допомоги водієві. Для забезпечення безпечного ру-

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
						5
Зм	Лис	ЛЮ	ЛОЖИМ	Підпис		

ху автомобіля в даний час, використовуються різні датчики: відео та інфрачервоні, радарні, лазерні та ультразвукові, а також датчики дощу і рівня освітленості. Сам процес виявлення зводиться до випромінювання радіоімпульсів з певною амплітудою і частотою коливань та подальшого прийому сигналу, відбитого від цілі. В якості активної бази в даному діапазоні частот доцільно використовувати сучасні надвисокочастотні напівпровідникові прилади (діоди і транзистори), які мають ряд переваг: малі габаритні розміри і маса; низька напруга і струм живлення; великий термін служби і механічна міцність, тощо.

1.1 РЛС попередження зіткнення транспортних засобів

Перші випробування автомобільних радарних датчиків датуються другою половиною 50-х років, а в 70-ті вся увага була сконцентрована на дослідженнях застосування радара в мікрохвильовому частотному діапазоні. У наступні десятиліття вчені експериментують з пристроями, що працюють на частотах в 17 ГГц, 24 ГГц, 35 ГГц, 49 ГГц, 60 ГГц та 77 ГГц. Такі експерименти призвели до безліч нових відкриттів в сфері обробки сигналів радара на мікрохвильовій частоті. У 90-ті роки концепція запобігання аварій стала не тільки цілком можливою, але і готовою до виходу в масове виробництво. Так, американська компанія Greyhound вбудувала на початку 90-х років понад 1600 радарних систем (24 ГГц) в серію своїх автобусів того часу. Як показала практика, це нововведення зменшило кількість аварій за рік на 21%.

Але виробники на цьому не стали зупинятися, ввівши до переліку завдань не тільки безпеку, але і комфорт. При цьому вартість готового продукту повинна була залишатися досить осудною та привабливою для споживача. Незабаром сенсорні технології знайшли застосування в системі автоматичного паркування, системі запобігання аварій і адаптивному круїз-контроль. Вперше японські автомобільні компанії представили систему АКК в 1995 році.

Тим часом європейські та американські компанії, взявши за основу радарну систему АКК продовжували дослідження та розробки нового продук-

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

ту. І вже в 1999 році Mercedes представив 77-гігагерцовий радар Distronic для машин класу S. У подальших лінійках АКК можна було вбудувати навіть за бажанням покупця.

Однак японські конкуренти Honda і Toyota розглянули систему АКК під іншим кутом, поєднавши комфорт і безпеку. Стандартні АКК пропонували систему поступового гальмування, а компанії Honda і Toyota в 2003 представили систему контролю при екстреному гальмуванні (Brake Assist System) для запобігання зіткнень (в додаток до АКК) на основі 77-ГГц радара дальнього діапазону. Система забезпечувала ефективну роботу вакуумного підсилювача гальм, яка спрацьовувала при розпізнанні загрози, знижуючи можливість виникнення аварії, навіть якщо водій починав гальмування пізно.

Європейський ринок теж не відставав у розвідку та перейшов від вирішення завдань комфорту до створення систем активної безпеки. Компанія Mercedes запустила нову серію своєї системи превентивної безпеки Presafe в машинах S класу в 2003 році. У перших моделях ця система базувалася не на технологіях виявлення і розпізнавання об'єктів, а лише на даних електронного контролю стійкості (Electronic Stability Control) і антиблокувальною системою гальмування (Anti-lock braking system). Якщо контрольний блок розпізнавав неминучість аварії при поточній динаміці просування машини, то приймався ряд заходів щодо захисту водія: реверсивне натягнення ременів безпеки, закриття, при необхідності, відкритих вікон і люків на даху, а також електрорегулювання сидінь.

Наступним кроком еволюції систем безпеки є перехід від захисних заходів до прогностичних, тобто до отримання додаткових мілісекунд у запасі для реагування і автоматичної активації відповідних заходів захисту. Компанія Bosch назвала таку систему прогностичною системою безпеки PSS. План розвитку систем Bosch PSS включає три етапи. На початку 2005 р в серійне виробництво була запущена система екстреного гальмування Predictive Brake Assist для моделі Audi A6, що представляє собою перше покоління PSS. На підставі інформації, що надходить від датчиків АКК, система розпізнає критичну ситуацію і непомітно для водія переміщує гальмівні колодки ближче

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист
						7
Зм	Лис	ЛЮ	ЛОЖИМ	Підпис		

до дисків, готуючись до можливого аварійного гальмування. Наступним етапом розвитку подібних систем стала функція превентивного реагування на зіткнення Predictive Collision Warning: якщо після втручання Predictive Brake Assist ймовірність тилового зіткнення все ще зберігається, система попереджає водія про небезпеку, ініціюючи легке, але відчутне гальмування. Вихід Predictive Collision Warning на ринок відбувся в 2006. Третє покоління PSS отримало назву Predictive Emergency Brake. У цій версії поряд з радаром дальньої дії використовується додаткова сенсорна система – відео датчики.

Радари ближньої дії для пасажирського транспорту були вперше встановлені в моделях преміум-класу в ряді систем активної безпеки для автоматичного екстреного гальмування, допомоги при перестроюванні, допомоги руху по смузі, автоматичного паркування, режимі Stop and Go адаптивного круїз-контролю. Рекомендована використовувана частота радара - 24 ГГц для отримання широкого кута огляду з дозволом в сантиметрах.

Питання стандартизації радіочастот для радарів і радарних систем стало досить актуальним в сучасному світі. В Європі для радарів, що працюють в діапазоні 76-77ГГц, був виділений і закріплений канал ще в 90-ті роки (ETSI EN 301 091). Зараз цей канал виділений для Інтелектуальних Транспортних Систем в Європі, Північній Америці і Японії.

У лютому 2002 Федеральна Комісія Зв'язку США схвалила частоту від 22 до 29 ГГц для автомобільних радарів ближньої дії. В Європі для вирішення цього питання був створений комітет SARA. 17 січня 2005 року комісія Євросоюзу нарешті прийняла рішення виділити діапазон частот 21.56-26.65 ГГц для радарів ближньої дії. Висновок на ринок цих систем дозволений з липня 2005 по червень 2013. Швидкість поширення обмежена до 7% всіх машин у всіх країнах Євросоюзу. Вважається, що цих восьми років мало вистачить, щоб розробити недорогий радар ближньої дії, який буде працювати на новій частоті, не зачіпаючи інші комерційні, наукові або військові структури і служби. Потім в березні 2004 Євросоюз виділив частотний діапазон 77-81 ГГц для радарів ближньої дії з виходом на ринки не раніше 2005 року.

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист
						Я
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

Основними параметрами автомобільного радара є: дальність виявлення, діапазону швидкості, кут огляду, дозвіл. Залежно від значень зазначених характеристик автомобільні радары підрозділяються на пристрій ближньої, середньої і далекої дії.

Вибір радара залежить від ряду факторів: функціональних вимог, обмеженого місця для монтування датчиків, стандартизації використовуваних радіочастот, вартості компонентів і складання, ринкових термінів.

Одна з головних вимог до радарів далекої дії - покриття зони до 150 ... 200 м.

Беручи до уваги основне рівняння радіолокації для моностатичного радара:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_{Tx} \cdot A^2 \cdot \sigma}{P_{min} \cdot 4\pi \cdot \lambda^2}}$$

отримуємо, що R_{max} пропорційний квадратному кореню ефективної величини апертури антени A і квадратному кореню частоти.

σ - ступінь відображення об'єкта

P_{Tx} - мінімальна потужність для розпізнавання.

Таким чином, датчики дальньої дії краще для моделей маленького розміру. Але ця вимога не виконує умови використання доступних за вартістю технологій мікрохвильових частот. Розмір антени 77-гигагерцового датчика дальньої дії можна зменшити до розмірів 50 x 50 мм. Але навіть при достатній чутливості висока спрямованість антени і низький рівень бокового огляду необхідні в будь-якому випадку для вирішення проблеми дорожніх огорожень і несуттєвих навколишніх об'єктів на узбіччі дороги.

24-гігагерцові радары ближньої дії не потребують покритті великій дистанції, тому для їх використання краще використовувати низькі частоти, що в свою чергу, дозволяє домогтися зниження ціни за рахунок застосування недорогий конструкції антен. Як правило датчики ближньої дії не визначають кутове положення виявлених об'єктів, і у них дуже широке покриття бічного огляду.

Проблема вимірювання кутового положення може бути вирішена за рахунок застосування додаткових датчиків. Так, вимір кута і відстані до перешкоди входить в алгоритм трилатерації. Компанія Valeo-Raytheon розробляють датчик ближньої дії з багатопроменевими фазованими решітками, в функціонал якого також входить надання дугових координат.

Для збільшення коефіцієнта спрямованої дії антени і мінімізації перешкод, створюваних на автомобільних дорогах, промені направляються вертикально.

Радари ближньої дії можуть використовувати методи, як імпульсні (доплерівській імпульс), так і безперервної дії (CW, FMCW, FSK, FMCW і FSK). Також часто використовуються системи з розсіяним спектром. Наприклад, у компанії Delphi 17-гігагерцовий радар є фазово-кадровим CW радаром з BPSK модуляцією псевдо-перешкод. Радар компанії M / A-Com є імпульсним. Компанія Hella розробляє 24 ГГц UWB частотно-модульований (FMCW) радар ближньої дії з вузьким покриттям, що працює у вільному діапазоні 24 ГГц ISM з граничної дистанцією в 70 м.

На даний момент радари 24 ГГц визнані оптимальним рішенням по співвідношенню ціна-якості для радарних систем ближньої дії. 77-гігагерцові радари

Головні компанії-виробники радарів, що працюють на частоті 77 ГГц - ADC (дочірня компанія Continental Temic у співпраці з M / A Com), Bosch, Delphi, TRW (Autocruise), Fujitsu Ten і Hitachi.

На рис.1.1.1 представлений радар дальньої дії другого покоління від компанії Bosch. Він був запущений у виробництво в 2004 році. Розміри системи складають 74 x 70 x 58 мм (В x Ш x Г), в заявлений функціонал входить повна система виявлення і розпізнавання об'єктів і АКК. Схема радара включає в себе 4 живлячі елементи (полікристали), прикріплені безпосередньо до 4-рьох резонаторів (патчам) плати RF-діапазону, які висвітлюють діелектричну лінзу. Моностаціональний аналог датчика з цифровим променем працює за принципом формування одного передавального пучка і чотирьох окремих (що приймають), які частково накладаються один на одного в ази-

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист
						10
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

мут. Таким чином, досягається підсумкове покриття азимута в ± 8 градусів (див. рис.1.1.2). Частотно-модульований сигнал безперервного коливання має форму трикутника.



Рисунок 1.1.1 — АКК компанії Bosch (друге покоління)

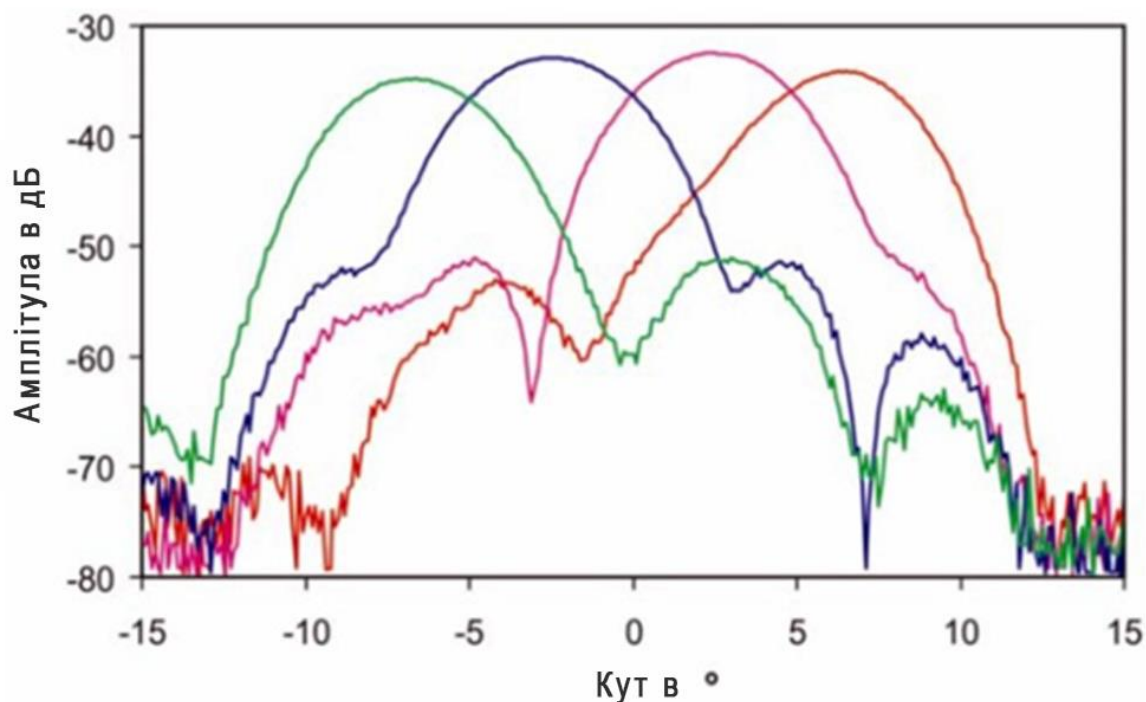


Рисунок 1.1.2 — Графік прийому сигналу АКК компанії Bosch (друге покоління)

Компанія TRW також використовує діелектричні лінзи, в той час як ADC (M / A COM) намагається знайти вигоди в складчастій конструкції з дуже низьким профілем датчика глибиною всього в 5 см. Інші компанії (Delphi, Fujitsu Ten, Mitsubishi electric, Celsius Tech) вдаються до механічних засобів вирішення керування променем. Хоча механічні сканери показують досить високий відсоток виявлення цілей, вони бувають дуже чутливі і втрачають з часом показник надійності. До того ж, вони обмежені у використанні, з огляду на подальшу тенденцію до мініатюризації пристроїв.

Радари фронтального огляду з технологією «Digital Beam Forming» з 77-гігагерцевим частотним діапазоном були представлені вперше на ринку автомобілів в 2003 році японськими компаніями. Denso розробив бістатичний радар далекого діапазону з планарними антенами, який здатний виявляти і розпізнавати об'єкти на відстані 150 м з кутом огляду ± 10 градусів. Дев'ять 77 ГГц антен-приймачів об'єднані SP3T перемикачами в одну смугу частот (див. рис. 1.1.3-1.1.4).

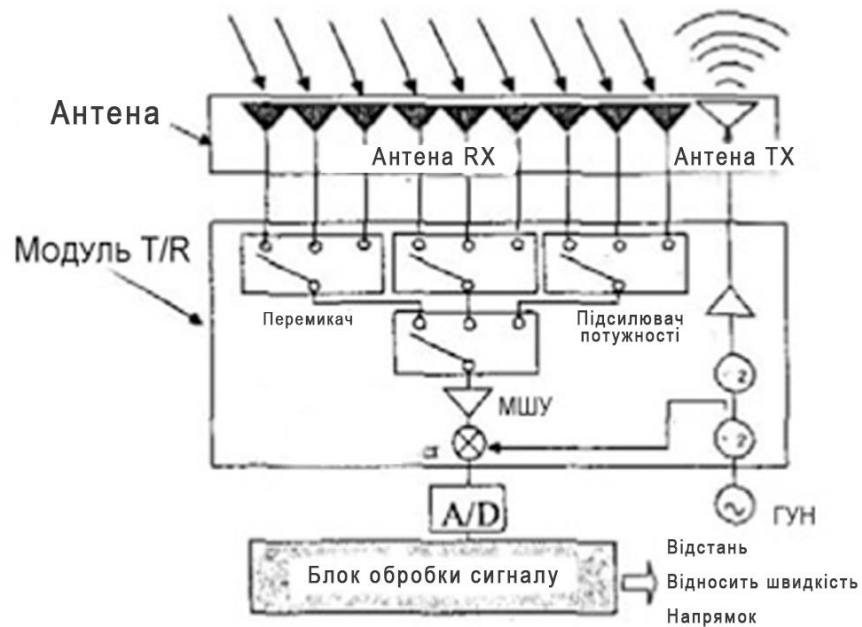


Рисунок 1.1.3 — Блок схема радару 77 ГГц компанії Denso з технологією «Digital Beam Forming»



Рисунок 1.1.4 — Радар 77 ГГц компанії Denso з технологією «Digital Beam Forming»

Радарний датчик далекої дії CRDL компанії Toyota з частотним діапазоном 77 ГГц, (див. рис 1.1.5-1.1.6) об'єднує 3 однакові антени-трансмітера і 3

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.464522.001 ПЗ

Лист

13

антени-ресивера в одну частотну смугу і 9 приймаючих цифрових каналів для Digital Beam Forming після поділу в цифровому блоці.

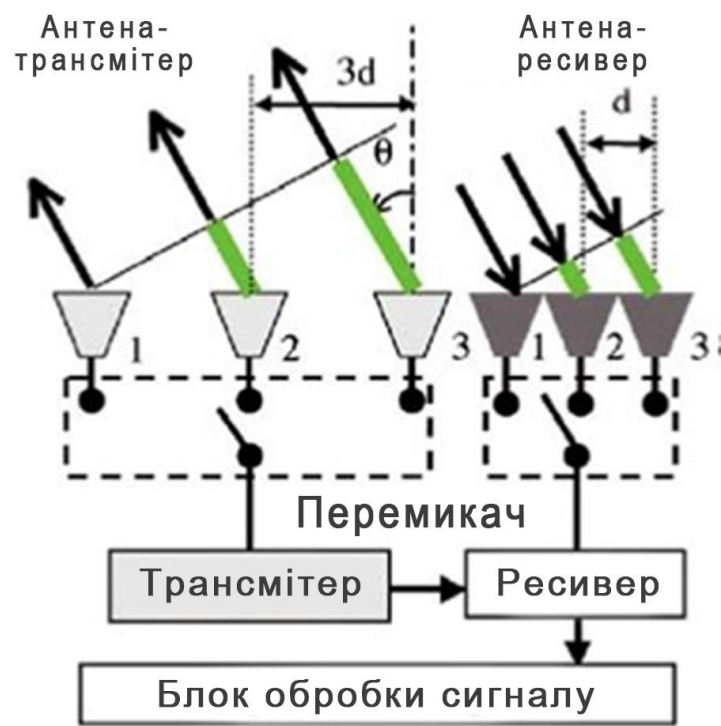


Рисунок 1.1.5 — Блок схема радару дальньої дії CRDL компанії Toyota частоті 77 ГГц



Рисунок 1.1.6 — Радар дальньої дії CRDL компанії Toyota на частоті 77 ГГц

Всі загальноприйняті методи оцінки кутових положень такі, як моноімпульсні техніки (порівняння амплітуд і фаз отриманих сигналів частково перетинаються діаграм спрямованості антени або фазові методи і механічне сканування дійсно вимірюють роздільну кутову здатність, але в межах половини ДСА. Таким чином, кутовий дозвіл безпосередньо залежить від величини апертури, адже 3-децибеловий діапазон променя антени з діаметром D і постійним випромінюванням приблизно дорівнює:

$$\theta_{3dB} \approx 59^\circ \frac{\lambda}{D}$$

Таким чином, кутовий дозвіл для 77-гігагерцовий радарів далекої дії зазвичай лежить в межах від 2 до 5 градусів. Для збільшення цієї межі варто звернутися до просторової обробки сигналу. Принцип цих методів будується на розкладанні шумового підпростору з масиву безлічі елементів антени. Використовуючи характеристичне число розкладання автокореляції можна дізнатися матрицю отриманих шумів лінійної антени і сигнальний підпростір. Знаючи ці підпростори, можна оцінити кутове положення.

В теорії обробки матриці сигналів добре відомі алгоритми MUSIC і ESPRIT. Науковий співробітник компанії Bosch, Мартін Шнейдер, поставив серію експериментів на основі цих алгоритмів для 24 ГГц радарів ближньої дії в 2002 році. Результати виправдали себе [2]. У 2005 році Мартін Шнейдер провів експерименти для радарів, що працюють на частоті 77 ГГц, з технологією «Digital Beam Forming» [1]. Основне завдання цих досліджень – виявити способи підвищення ефективності функцій виявлення і розпізнавання об'єктів роботи радарів 77 ГГц, використовуючи метод або комбінацію методів для збільшення точності вимірювання кутового дозволу.

На рис. 1.1.7 зображений один з радарів фронтального огляду на 77ГГц з лінійної антеною, що складається з 8-ми паралельних смуг. Передавальна антена складається з 4-х смуг та звужується розподілом живлення, яке дає низький рівень бічної спрямованості антени (приблизно -27 дБ). Ширина пучка 3 дБ передавальної антени становить 26 градусів, коефіцієнт спрямованої дії антени - 20, 5 дБ.

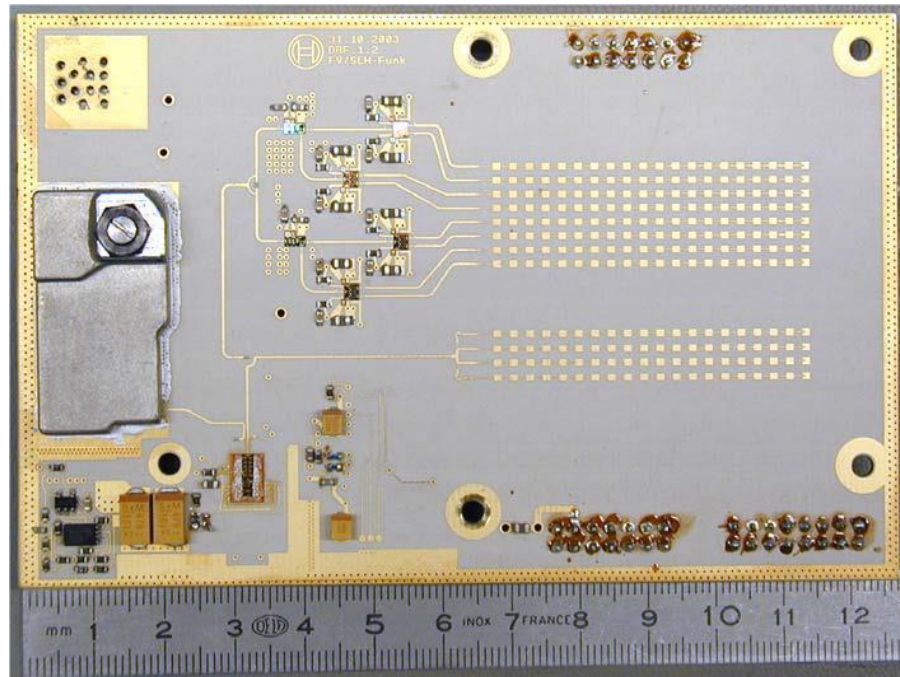


Рисунок — 1.1.7 Бістатичних радар фронтального огляду, що працює на частоті 77 ГГц, з 8-ю патч-антенами ресивера і 4-ма антенами трансмітера (живлення від розгалуджувача потужності) і технологією «Digital Beam Forming»

Інший радар фронтального огляду з розширеними масивами для дальнього виявлення поміщень у водонепроникний кожух і встановлений на тестовий автомобіль (рис. 1.1.8). Половина спектру ДСА датчика з технологією «Digital Beam Forming» складала всього близько 8,5 градусів, кутовий розподіл обох машини менше 4 градусів, і ніяких примарних перешкод між об'єктами зафіксовано небуло.

Зм.	Лис	№ докум	Підпис	Дата

PT61.464522.001 ПЗ

Лист

16



Рисунок 1.1.8 — Тестовий зразок з 77 ГГц радаром (крупно в нижньому лівому кутку)

Як бачимо, всі описані вище системи – це сучасна радіолокація, яку ми тепер застосували не тільки у воєнній сфері, а й в других галузях

1.2 РЛС попередження зіткнення, що побудовані на різних фізичних принципах.

В останні роки для забезпечення руху вночі, на автомобілях починають активно застосовуватися ІК - камери (Forward Looking InfraRed), які формують зображення подібно до звичайних відеокамер, але використовують для цього діапазон невидимого світла (з довжиною хвилі 3-5 або 8-15 мкм). Однак наявність снігу, дощу, диму і туману з високою щільністю є обмеженням для застосування стандартних відео - ІК камер.

Ультразвукові датчики допомагають водієві при парковці, засновані на вимірі відстані між автомобілем та перешкодою, мають обмежену дальність дії (<10 м).

Найважливішою перевагою радарних датчиків є їх нечутливість до погодних умов, сезонів і часу доби. Крім того, радари характеризуються великою дальністю дії, широкою областю огляду і високим просторовим дозволом.

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата		17

В даний час в світі для підвищення безпеки руху транспортних засобів проводиться багато радарів, в першу чергу для автомобілів, суден та кораблів. За дальності роботи автомобільні радіолокатори попередження зіткнення (РПЗ) підрозділяють на радари: великої дальності (LRR) - для систем автоматизованого круїз-контролю (АКК), середньої дальності (MRR) для попередження перехресного руху і допомоги при зміні смуги, і малої дальності (SRR), які виявляють перешкоди / пішоходів на малої дальності.

Відомі автомобільні радари (АР) малої дальності (SRR) зазвичай мають максимальну дальність виявлення до 50м, сектор огляду в азимутальній площині лежить в межах $\pm 65^\circ$, підтримки АКК і парковки.

Радіолокаційний датчик середньої дальності (MRR) компанії Bosch, який працює в діапазоні частот 76 -11 ГГц, є стандартом для АР практично у всіх країнах світу. При цьому, варіант цього АР для переднього огляду має кут огляду по азимуту до ± 45 градусів і дальність виявлення до 160 метрів від автомобіля-носія. Варіант MRR огляду позаду автомобіля має кут огляду по азимуту до ± 75 градусів і дальність до 90 метрів.

АР великої дальності (LRR) дозволяє спостерігати об'єкти в діапазоні від 10 до 250м. Основною функцією цих радіолокаторів є забезпечення роботи системи АКК. Наприклад, радарний датчик AC20 TRW Automotive виконує вимірювання відстані в діапазоні 1 - 200 м з точністю 1 м, вимірювання швидкості в діапазоні до 250 км / год з точністю $\pm 0,1$ км / год і сканування по азимуту в кутовому секторі $\pm 6^\circ$ з точністю $\pm 0,3^\circ$.

Проблемними задачами, пов'язаними з проектуванням РЛС, є забезпечення безпеки руху, цими питаннями займалися різні вчені. Перш за все, необхідно відзначити основні роботи таких видатних вчених в галузі радіолокації, як професор П.Л.Бакулєв, професор Ю.Г.Сосулін, професор В.Н.Скосирєв. Великий внесок в розробку і створення перших панорамних РЛС для ТЗ (перш за все автомобільних РЛС - АРЛС) надали багаторічні дослідження відомих фахівців таких як: Нуждіна В.М., Расторгуєва В.В., Чукин Л.Ф., Давидич І.В. Крім того, питання розробки радіолокаторів ближньої да-

льності розглянуті в працях Шелухіна О.І., Єлістратова В.В., М. Sokolnik., P. Russer., R. Rollman., M. Schnider., R. Schmidt.

Оскільки основним завданням є своєчасне виявлення перешкод на дорозі і запобігання зіткнення з ними, то в подальшому РЛС такого типу будемо називати радаром попередження зіткнень (РПС).

При створенні РПС було вирішено велику кількість завдань, проте, роботи з аналізу статистичних характеристик розсіювання електромагнітних хвиль на таких об'єктах, як: автомобілі, об'єкти дорожньої інфраструктури в РПС не були завершені. Не були розглянуті питання впливу параметрів антеною системи на характеристики виявлення об'єктів в РПС, не розглянуті питання вимірювання горизонтального вектора швидкості, та не розглянуті алгоритми обробки радіолокаційних зображень для їх адекватного сприйняття водієм. Тому можна констатувати, що питання побудови алгоритмів формування і обробки радіолокаційних зображень залишаються відкритими і розробка ефективних методів обробки сигналів в РПС ТС є актуальним завданням.

Висновок:

Отже в сучасному світі розробкою РЛС попередження зіткнення ТЗ займаються такі провідні компанії як: Mercedes, Volvo, Delphi, Fujitsu Ten, Mitsubishi electric, Celsius Tech, Toyota, Bosch, Valeo-Raytheon, тощо. Всі ці компанії використовують системи попередження зіткнення на різних фізичних принципах: оптичні, ультразвукові, лазерні, інфрачервоні, радіотехнічні. В нашому дослідженні було виявлено, що найбільш кращими виявилися радіотехнічні. Радіолокаційна система виявлення краще справляється з поставленою задачею в екстремальних умовах, таких як: сніг, дощ, туман, град, умовах малої освітленості.

2 ОСНОВИ СИНТЕЗУ РЛС ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ НА ЕФЕКТІ ДОПЛЕРА

2.1 Теоретичні основи РЛС виявлення рухомих об'єктів на ефекті Доплера.

Ефект Доплера - це помітна зміна частоти або висоти тону звукового коливання, що виникає коли джерело звуку рухається у напрямку до слухача або від нього. Цей ефект, відкритий австрійським фізиком Крістіаном Доплером (Christian Doppler), застосовується до хвильових процесах різного походження. Ефект Доплера використовується в радіолокації для розпізнавання рухомих об'єктів, літаків, на фоні нерухомих (гір, хмар, тощо) [3]. За червоним зміщенням світла від астрономічних об'єктів, вимірюється їхня швидкість і розраховується відстань до них. Крім радіолокації Ефект Доплера широко використовується інших галузях, наприклад в медицині, астрономії.

У радіолокації ефект Доплера використовується при вирішенні наступних завдань:

- 1) вимір швидкості об'єкта;
- 2) селекція рухомих цілей (СДЦ); (MTI - Moving Target Indication;)

Для розуміння ефекту Доплера припустимо, що частота звукового коливання джерела підтримується постійною. Довжина хвилі такого коливання, також буде постійною. Якщо джерело звуку і приймач залишаються нерухомими, то приймач буде «чути» звук з тією ж частотою, що випромінюється джерелом. Це пов'язано з тим, що приймач приймає таку ж кількість хвиль (періодів коливання) в одиницю часу, що і кількість хвиль, що видаються джерелом коливання.

Якщо ж тепер уявити, що або джерело переміщується у напрямку до приймача, або приймач переміщується в бік джерела, або обидва вони рухаються назустріч один одному, то приймач буде приймати звук більш високої частоти ніж звук, який видається джерелом. Тепер приймач буде приймати більшу кількість хвиль (періодів коливання) в одиницю часу і, отже, інтерп-

ретувати прийняту хвилю як коливання більш високої частоти. У зворотній ситуації, коли джерело коливання і приймач розходяться один від одного, приймач буде приймати меншу кількість хвиль (періодів коливання) в одиницю часу і, отже, сприймати їх як коливання меншої частоти. При цьому і в першому, і в другому випадках джерело коливання видає звук на одній і тій же постійній частоті.

Наприклад, звуковий сигнал швидко автомобілем під час руху чується більш високим, коли він підійшов, ніж коли автомобіль віддаляється. В даному випадку звуковий сигнал автомобіля видає акустичні коливання на одній і тій же частоті, що розповсюджуються в повітрі з однаковою швидкістю в усіх напрямках, а відстань між автомобілем і слухачем зменшується. В результаті цього, кожен новий період звукового коливання проходить меншу відстань до точки прийому, ніж попередній. Таким чином, періоди коливання приходять з зменшуються часовими інтервалами між ними.

$$f_D = \frac{2 \cdot v}{\lambda}$$

f_D — частота Доплера [Гц]

λ — відстань хвилі [м]

v — швидкість руху джерела коливань [м/с]

Цей вираз буде коректним, якщо в якості множника v (швидкості джерела) буде підставлена його радіальна швидкість. Однак літак може летіти в напрямку, відмінному від напрямку на радіолокатор. В цьому випадку частота Доплера буде визначатися тільки радіальної складової повного вектора швидкості літака. Оскільки в загальному випадку ці два вектори не збігаються, формула для частоти Доплера набуде вигляду:

$$f_D = \frac{2 \cdot v}{\lambda} \cdot \cos \alpha$$

α — кут між напрямком лінії візування мети (напрямком лінії між антеною і метою) і напрямком польоту цілі.

2.1.1 Вивід формули для частоти Доплера:

Набіг фази φ , який набуває електромагнітна хвиля при поширенні від антени радіолокатора до мети і назад, дорівнює відношенню довжини пройденого хвилею шляху до довжини випромінюваної хвилі, помноженому на градусну міру повного циклу коливання ($2 \cdot \pi$):

$$\varphi = -\frac{2r \cdot 2\pi}{\lambda}$$

φ — різниця фаз між випроміненим і прийнятим сигналом;

$2r$ — подвоєне відстань до цілі (туди і назад);

2π — 360° : фазовий набіг за один період коливання;

Цей вираз справедливо, якщо ціль нерухома. В цьому випадку різниця фаз між випроміненим і прийнятим сигналом буде постійною. Якщо ж ціль має деяку радіальну швидкість,

$$v_r = -\frac{d(r)}{dt}$$

то значення різниці фаз буде змінюватися. Продиференціював вираз для різниці фаз за часом, отримаємо

$$\frac{d(\varphi)}{dt} = \frac{-4\pi \cdot v_r}{\lambda}$$

Як відомо, похідна фази коливання за часом є його частота. Тому з наведених вище виразів може бути отримана формула для частоти Доплера - частотного зсуву, який набуває сигнал, відбитий від рухомого об'єкта:

$$f_D = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d(\varphi)}{dt} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{-4\pi \cdot v_r}{\lambda}$$
$$|f_D| = \frac{2 \cdot v_r}{\lambda} \cdot \frac{2 \cdot v_r \cdot f_{tx}}{c_0}$$

Отримана формула дозволяє зробити висновок про те, що в практиці радіолокації ефект Доплера виникає двічі: перший раз - на шляху зондуючого сигналу від радіолокатора до мети, другий - на шляху відбитого від цілі (і вже має доплерівський зсув частоти) сигналу в зворотному напрямку.

2.1.2 Нормована частота Доплера:

Частота Доплера залежить від двох змінних: радіальної швидкості і несучої частоти передавача радіолокатора. Якщо частота передавача постійна, то частота Доплера є мірою тільки радіальної швидкості. Сучасні радіолокатори, в основному з частотним розносом. Частота випромінювання таких радіолокаторів не є постійною. В даному випадку вплив відмінності частот випромінювання все ще залишається незначним. Однак, якщо частоти випромінювання знаходяться в різних частотних діапазонах, то звичайна обробка радіолокаційних сигналів не є можливою. При цифровій обробці радіолокаційних сигналів доплерівська частота буде ділитися на поточну частоту випромінювання, для виключення впливу різниці між частотами випромінювання.

$$f_D = \frac{1}{2\pi}$$

2.2 Підходи та особливості побудови РЛС на ефекті Дроплера.

Три основних компоненти радару – це трансмітер, антена і ресівер. Основне завдання радару - це виявлення об'єкта в зоні дії радіосигналу, випромінюваного трансмітером, при якому вихід ресивера в даний час відповідає луні, відбитому від об'єкта. Трансмітер також містить підсилювач, який збільшує потужність електромагнітного імпульсу, і антену, яка транслює електромагнітні хвилі. Радіоресівер отримує відбиті від об'єкта електромагнітні хвилі за допомогою антени, перетворюючи їх в струм. Для підвищення надійності детектування і відділення корисного сигналу від шумів в схемі обробки сигналу безперервно виконується порівняння амплітуди виходу ресивера з деяким встановленим або адаптивно обчислюваним порогом. Час, за яке радіоімпульс проходить шлях до об'єкта і назад, відповідає відстані $2R$ і дорівнює

$2R/c$, де

c — швидкість поширення електромагнітної хвилі (швидкість світла).

Оскільки швидкість світла залишається практично незмінною в будь-якому середовищі, очевидні переваги радарів по точності в порівнянні з ультразвуковими датчиками. Після того як об'єкт виявлений, радар відстежує його положення або швидкість. Моностатичний радар вимірює положення в сферичній системі координат з початковою точкою в фазовому центрі антени радара. Напрямок огляду антени (boresight direction) лежить уздовж осі X. Кут θ називається кутом азимута; для аналізу стану використовується також кут підвищення φ , який залежить від орієнтації антени (рис. 2.2.1) [4].

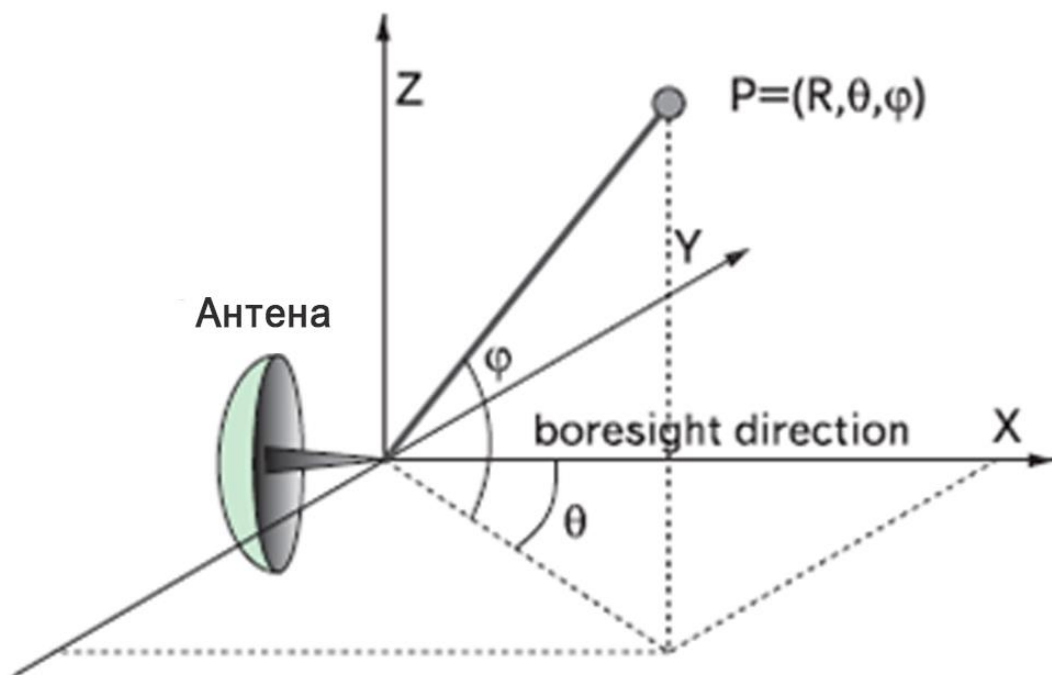


Рисунок 2.2.1 — Сферична координатна система для радарних вимірювань.

У більшості сучасних систем АКК φ можна не враховувати. Моностатичним називається радар, в якому антени трансмітера і ресивера об'єднані (тобто використовується одна і та ж антена). Радари даного типу складають більшість сучасних пристроїв. У бістатичних радарів антени трансмітера і ресивера розділені. Кутове положення визначається шляхом аналізу властивостей відбитого хвильового сигналу. Радар локалізує положення цілі за рахунок отримання кута азимута щодо опорної лінії або точки радарної антени і відстані range. Кут азимуту цілі визначається як кутову відстань між опорної лі-

нією антени (в напрямку перпендикуляра від опорної точки антени boresight) і прямий, що з'єднує опорну точку радарної антени і апертурну точку цілі. Відстань до цілі (range) визначається як відстань від антеною опорної точки до мети. Хоча кут азимута і відстань дозволяють обчислити положення цілі, можливі помилки, що виникають внаслідок змін температури і флуктуацій напруги хвилі. Відсоткова помилка між обчисленим і фактичним відстанню може складати близько 10-30%; для її зменшення в радарних системах використовується калібрування [5]. Швидкість оцінюється за допомогою доплерівського зсуву еха цілі. Ефект Доплера полягає у зміні частоти і довжини хвиль, що реєструються ресивером, що викликано відносним рухом їх джерела або приймача. Коли радар і об'єкт нерухомі, відбитий сигнал буде мати ту ж частоту, що й оригінальний сигнал, і кілька ослаблену амплітуду, тобто швидкість, рівну нулю, неможливо виміряти. Коли детектується, об'єкт віддаляється, другий сегмент сигналу проходить більшу відстань, ніж перший сегмент, що розтягує хвилю, зменшуючи її частоту, довжина хвилі при цьому збільшується. Якщо самий об'єкт наближається до умовно нерухомого в обраній системі відліку ресивера, другий сегмент хвилі проходить більш коротку відстань, що збільшує частоту прийнятого сигналу, довжина хвилі при цьому зменшується. реєструючи зміни частоти, радар обчислює радіальну складову швидкості об'єкта, якій є проекція швидкості на пряму, що проходить через об'єкт і радар. Доплерівський метод забезпечує вимір тільки радіальної складової швидкості, але послідовність вимірювань положення і радіальної швидкості дозволяють зробити висновок про динаміку об'єкта в трьох вимірах. Радари також можуть бути використані для генерування двовимірних зображень області. Такі зображення використовуються для аналізу місцевості і навігації, але їх дозвіл менше, ніж у оптичних камер, і тому радари не уявляють в аналогічних задачах інтересу для автоелектроніки, незважаючи на переваги - дуже низький рівень ослаблення електромагнітних хвиль в повітрі дозволяє радарів «бачити» крізь хмари, туман, опади. Відмітна риса радарної системи - тип використовуваної техніки модуляції для отримання інформації про відстані і швидкості. Відомий ряд різних радарних методів.

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист
Зм	Лис	ЛЮ док	Підпис	Дата		25

Виділяють дві великі групи:

1) імпульсні (не доплерівські і доплерівські)

2) радары з незгасаючої гармонійної хвилею (Continuous wave), не модульований, частотно-модульований, радары з частотної маніпуляцією або frequency shift keying, spread-spectrum радары.

До інших класифікаційними ознаками відносяться відмінності в типах антен і в методах, що використовуються для отримання кутової інформації. Серед доплерівських радарів виділяються імпульсні і безперервної дії.

У класичному імпульсному радарі система передає імпульси тривалістю близько кількох десятків наносекунд і потім очікує відлуння деякий час, що є функцією відстані до цілі. Інформація про швидкість в не доплерівському радарі може бути отримана тільки на основі масиву даних про зміни відстані до об'єкта в часі. Функціональні діаграми імпульсних радарів показані на рис. 2.2.2

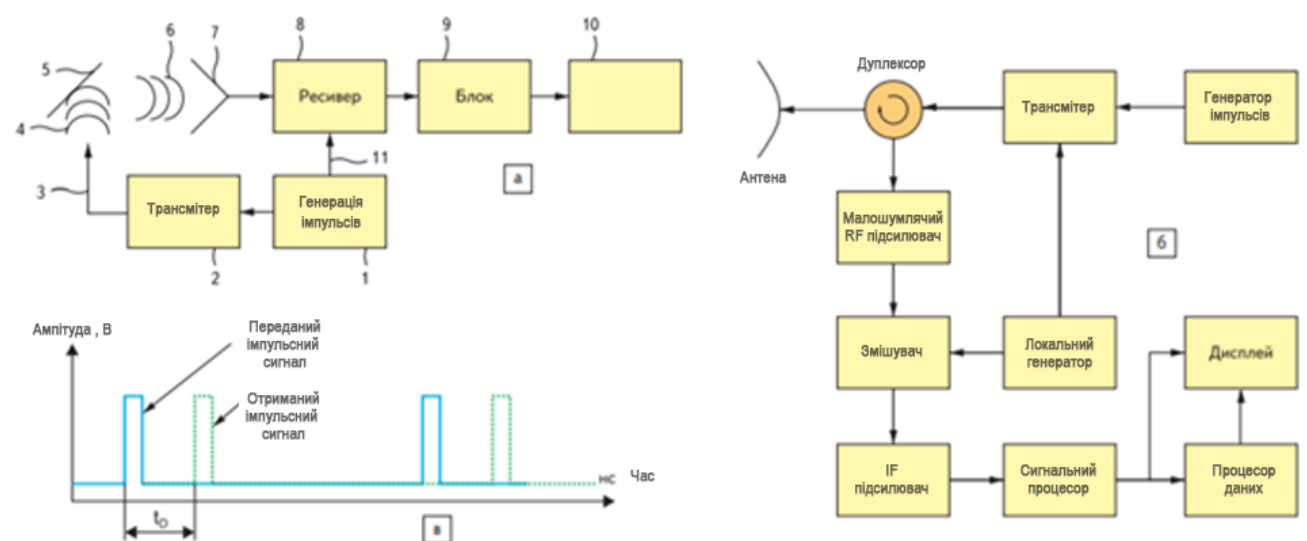


Рисунок 2.2.2 — Функціональні діаграми імпульсних радарів: а) радарна система з кореляційним приймачем: 1 – генератор імпульсів; 2 – трансмітер, що передає сигнал через антену 3; 4 – переданий сигнал; 5 – об'єкт; 6 – прийнятий сигнал; 7 – антена ресивера; 8 – ресивер; 9 – блок з ФНЧ, АЦП; 10 – схема оцінювання сигналу; 11 – опорний сигнал; б) функціональна діаграма імпульсного моностатичного радара; в) тимчасова діаграма імпульсного радара відстані.

Звичайна радарна система з кореляційним приймачем включає генератор імпульсів і трансмітер, що передає сигнал через антену (рис. 2.2.2a) [4].

Інфрачервоний промінь досягає об'єкта, потім відбивається і приймається антеною ресивера, після чого надходить в ресивер, проходячи через блок з ФНЧ, АЦП і схему оцінки сигналу. Спеціальний ознака кореляційного ресивера – отримання опорного сигналу від генератора імпульсів, який змішується з сигналом, що відображаються від мети і прийнятим ресивером. В результаті кореляції може бути зроблено висновок про відстань до об'єкту на основі часу затримки між переданим і отриманим імпульсом. У прикладі на рис. 2.2.2б імпульсний вихід генератора за допомогою трансмітера перенаправляється на антену через дуплексер (антенний перемикач), званий також циркулятором або перемикачем T / R (Transmit / receive). Отримане відлуння таким же способом за допомогою двостороннього друку направляється в радарний ресивер. Ресивер являє собою супергетеродинний приймач, першим ступенем якого часто є малошумлячий радіочастотний підсилювач, за яким слідує ступені модуляції отриманого сигналу, що зменшують проміжні частоти (intermediate frequencies) і зводять сигнал до основної смуги не модульованих несучих частот. Кожна модуляція передається в змішувач і локальний осцилятор. Сигнал потім надсилається до сигнального процесора, що виконує такі функції, як імпульсне стиснення, узгоджена, доплерівська фільтрація, інтеграція, компенсація руху. Потужність радарних трансмітерів варіюється від міліват до мегават. Інтервал між переданими імпульсами називається pulse repetition interval, його інверсна характеристика називається частотою повторення імпульсів pulse repetition frequency. Варіюється від декількох імпульсів за секунду до декількох десятків тисяч. Робочий цикл імпульсних систем часто становить менше 1%. Довжини імпульсів зазвичай знаходяться в межах 100 нс - 100 мкс, хоча багато систем допускають довжини імпульсів в кілька нс або близько 1 мс. Імпульсні радары, для того щоб однозначно вирішувати множинні цілі, вимагають здійснення високошвидкісний і широкосмугового обробки сигналу. Якщо час очікування між передачами імпульсів невелика, відлуння від об'єкта може прийти вже після наступної передачі. Система

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
Зм	Лис	ЛЮ док	Підпис	Дата		27

повинна розрізняти таке далеко діапазонне відлуння та відлуння, що приходить від об'єкта. За одну мікросекунду імпульси проходять відстань 150 м до цілі і назад до приймача. Отриманий сигнал дозволяє обчислити відстань до об'єкта. БПФ витягує з доплерівського зсуву фазовий зсув між переданим і одержуваним сигналом і, таким чином, отримує інформацію про швидкість.

2.3 Шляхи забезпечення моніторингу контрольованої зони навколо об'єкту.

Стійкий алгоритм класифікації об'єктів (зазвичай пішоходів і наземного, водного транспорту, або нерухомого об'єкту), що працює в режимі реального часу - ключовий компонент автомобільно-пішохідної, морської системи захисту, заснованої на радіолокації. Класифікація ґрунтується на видобутих характеристиках. Зазвичай в якості такої ознаки виступає радіальна швидкість об'єкта, що дозволяє визначати радіальне рух пішоходів і наземних транспортних засобів з точністю 95% [6]. Для оцінки швидкості об'єктів, що рухаються вбік, необхідна додаткова інформація, така як кутова позиція розсіювачів. Використовуючи ці ознаки, вдається збільшити точність розпізнавання до 99%[6] .

Тим не менше, використання радіальної швидкості цілі у вигляді ознаки для класифікації має кілька недоліків:

1) частотний зсув радіальної швидкості цілі під час руху транспортного засобу, на якому встановлений радіолокаційний датчик (для компенсації даного недоліку необхідно знати швидкість транспортного засобу);

2) транспортні засоби, що рухаються в бік щодо радару, можуть мати низьку кругову швидкість і, якщо немає додаткових даних вимірювань, можуть бути невірно класифіковані як пішохід;

3) для визначення радіальної швидкості цілі повинна бути відома робоча частота радару.

Моніторинг контрольованої зони здійснюється безперервно. Дальність границі контрольованої зони повинно бути на відстані, яка забезпечить безпеку маневра, або зупинки транспортного засобу для запобігання зіткнення. Ві-

дстань розраховується у залежності від довжини шляху гальмування автотранспорту та мінімального радіусу розвороту судна. Сектор огляду забезпечується параметрами антенної системи і повинна бути не менша ніж габарити транспорту в передній полу сфері. За рахунок ефекту Доплера, РЛС буде виявляти не тільки нерухомі об'єкти, але й рухомі, для яких буде визначатися напрям та швидкість руху.

$$V_r = \frac{F_D \cdot \lambda}{2}$$

В залежності від відстані до об'єктів та інтенсивності напрямку руху в сторону транспорту, РЛС визначає пріоритетність небезпеки від зустрічних об'єктів за їх швидкістю зближення. РЛС буде позначати на індикатори огляду контрольованого сектора першим найближчим об'єктам, які складають небезпеку для рухомого транспорту. Тому встановлення антенної системи по азимуту та куту місця не потрібно, що значно спрощує конструкцію антенної системи та підключення сигнальних кабелів до тракту. Діаграма направленості антенної системи, крім забезпечення сектора огляду у горизонтальній площі і відповідності до габаритів транспортного засобу, повинна забезпечити огляд у вертикальній площині сектора, який відповідає висоті транспортного засобу.

Висновок:

Була розглянута проблема моніторингу розпізнавання нерухомих та рухомих об'єктів, автомобільним або судовим радаром. Результати класифікації цілей за доплерівською частотою показують, що запропоновані методики підходять для класифікації даних радара, та допомагають прийняти ефективне рішення щодо попередження зіткнення.

3 РОЗРОБКА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РЛС ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ

3.1 Розробка структурної схеми РЛС попередження зіткнення.

Проведемо розробку структурної схеми РЛС з урахуванням вимог до її функціонального призначення. У попередніх розділах був проведений аналіз досвіду побудови автомобільних РЛС, у яких частота випромінювання сигналу була 24 або 77 ГГц. У результаті цього аналізу був виявлений суттєвий недолік, а саме велика залежність ефективності роботи РЛС з міліметровою довжиною хвилі від погодних умов. Тому пропонується вибрати несучу частоту сигналу РЛС - 5.5 ГГц, це обумовлено тим, що на цій частоті малі втрати енергії сигналу в атмосфері при любых погодних умовах. Крім того зазначена довжина хвилі (0,05 м) дозволяє створювати конструктивно ефективні та компактні антенні системи типу ФАР. Радіолокаційна система працює в режимі імпульсного випромінювання на частоті $f_0 = 5.5$ ГГц, та в залежності від призначення, має потужність $P = 300 - 42000$ Вт, та різні параметри ФАР.

Так, для автомобільної РЛС попередження зіткнення ФАР буде мати набір 7x4 антенних елементів і потужність випромінювання $P = 8400$ Вт. Судова РЛС попередження зіткнення ФАР буде мати набір 7x20 антенних елементів і потужність випромінювання $P = 42000$ Вт. У всьому іншому РЛС для автомобіля та судна однакові.

1. Оцінка параметрів об'єкту.

Вид об'єкту – транспортний засіб водного призначення. Такі об'єкти, зазвичай, мають ефективної площини розсіювання $S_{\text{ефф}} = 1-10 \text{ м}^2$ (з таблиці [11]). Радіолокаційні об'єкти для автомобільних РЛС попередження зіткнення мають $S_{\text{ефф}} = 0,3 - 5 \text{ м}^2$

2. Максимальна дальність дії.

Оцінимо максимальною дальністю дії судової РЛС попередження зіткнення, на якому сигнали цілі виявляються із заданою вірогідністю правиль-

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
						30
Зм	Лис	Ліс	Ліс	Ліс		

ного виявлення $P_{пр}$ і помилкової тривоги. При потужності випромінювання $P = 42000$ Вт.

$R_{max}, \text{м}$	$S, \text{м}^2$
2300	10
1920	8
1630	6
1120	4
870	2
360	1

Дальність дії автомобільної РЛС попередження зіткнення $P = 8400$ Вт.

$R_{max}, \text{м}$	$S, \text{м}^2$
152,2	5
97,4	4
56,7	2
12,2	1
9,1	0,5
8	0,3

3. Визначення роздільної здатності РЛС по відстані.

Роздільна здатність РЛС по відстані: $\Delta D = 5$ м

4. Визначення параметрів випромінювання.

Вибираємо РЛС імпульсного когерентного типу. Вибір обумовлений відносно малою дальністю дії і відсутністю вимог до вимірювання та вирішенню по швидкості.

Виберемо в якості зондуючого сигналу простий сигнал з базою рівної 1 (радіоімпульси з прямокутною обвідної).

Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ

PT61.464522.001 ПЗ

Лист

31

Вибір тривалості і частоти проходження імпульсів проводиться з умови однозначного виміру параметрів цілей на максимальній відстані.

З роздільної здатності РЛС по відстані визначаємо тривалість імпульсу:

$$\tau_i = \frac{2\Delta D \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 3.33 \cdot 10^{-8} = 33 \text{ нс}$$

Період повторення імпульсів:

$$T_{\Pi} = \frac{2 \cdot R_{\max}}{c} = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$$

Тоді частота повторення зондуєчих імпульсів дорівнює:

$$F_{\Pi} = \frac{1}{T_{\Pi}} = 6.5 \cdot 10^4 \text{ Гц}$$

Розрахуємо необхідну величину відношення сигнал / шум.

Наш сигнал, що приймається характеризується випадковими змінами фази і амплітуди. Імовірність хибної тривоги дорівнює $1 \cdot 10^{-6}$, а імовірність вірного виявлення дорівнює 0.8. У цьому випадку має місце погіршення характеристик виявлення в порівнянні з повністю відомим сигналом. Припускаючи, що закон розподілу початкової фази сигналу рівномірний в межах від 0 до 2π , а розподіл амплітуди підпорядковане закону Релея, можна отримати:

$$q = 2 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{P_{\text{лт}}}\right)}{\ln\left(\frac{1}{P_{\text{по}}}\right)} - 1 \right) = 121.826 \text{ разів}$$

$$10 \log(q) = 20.857 \text{ дБ}$$

3.1.1 Обґрунтування, вибір і розрахунок технічних характеристик РЛС.

Проектована радіолокаційна станція працює в імпульсному режимі. Сигнал - некогерентні прямокутні імпульси.

Діапазон хвиль, застосовуваний в радіолокаційної техніки, лежить в області сантиметрових і міліметрових хвиль. Від довжини хвилі РЛС залежать розміри антеною системи при необхідних значеннях діаграми спрямованості і коефіцієнта спрямованої дії антени. Застосування більш коротких хвиль при тих же розмірах антени дозволяє поліпшити роздільну здатність.

При виборі довжини хвилі необхідно враховувати дії гідрометеорів і атмосфери, можливість отримання необхідної потужності від передавача і забезпечення необхідної чутливості приймача. У діапазонах сантиметрових і особливо міліметрових хвиль інтенсивне поглинання електромагнітних коливань викликає небажане зменшення дальності дії РЛС. Крім того, гідрометеори в цих діапазонах можуть бути джерелом інтенсивного відображення, що ускладнює і повністю виключає спостереження цілей.

Вибір довжини хвилі повинен проводитися з урахуванням особливостей РЛС і впливу довжини хвилі на її тактичні характеристики. Навпаки, для РЛС ближньої дії, як правило, важлива висока точність відліку кутових координат і роздільна здатність. У таких випадках вигідно використовувати сантиметрові, а іноді і міліметрові хвилі, оскільки при загальному невеликому радіусі дії станції загасання електромагнітних хвиль в атмосфері буде позначатися ще не дуже сильно.

Для дальності дії 2300 м., при збільшенні довжини хвилі, необхідна енергія випромінювання буде збільшуватись відносно повільно, а при зменшенні довжини хвилі - зросте дуже швидко. Тому вибираємо довжину хвилі $\lambda = 5 \text{ см}$

Робоча частота знаходиться виходячи з довжини хвилі $\lambda = 0.05 \text{ м}$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{0.05} = 5.5 \text{ ГГц}$$

Для даної частоти візьмемо надширокосмугову антену Антрад-4

Та самостійно розрахуємо передавач на частоті 5.5 ГГц для даної РЛС.

3.1.2 Опис узагальнених структурних схем РЛС

Структурна схема РЛС

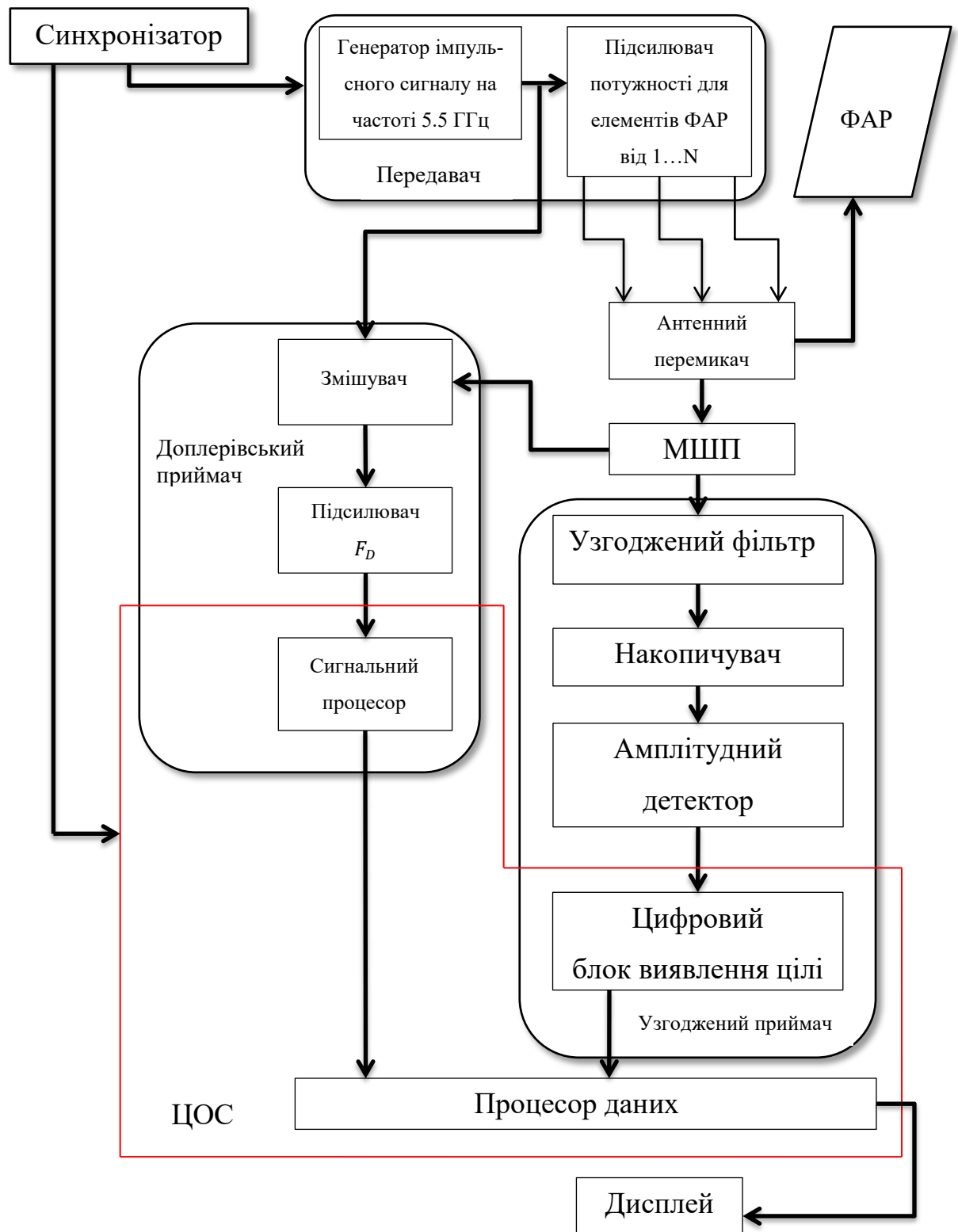


Рисунок 3.1.2 — Структурна схема РЛС

Опис та принцип роботи:

Синхронізатор — забезпечує узгоджену роботу всіх елементів РЛС та вимірювання відстані до радіолокаційних об'єктів, на основі дискрет відліку часу між моментом випромінювання зондуючого та прийнятого відбитого від цілі сигналу. З генератора імпульсного сигналу на частоті 5.5 ГГц, сигнал йде до підсилювача потужності для елементів ФАР, підсилюється та переходить на антенний перемикач. Далі з антенного перемикача сигнал йде до антенної решітки ФАР та на МШП. МШП — малoshумлящий підсилювач конструктивно виконується так само, як підсилювач потужності для елементів ФАР на частоті 5.5 ГГц. Після МШП сигнал йде на узгоджений та доплерівський приймач.

В узгодженому приймачі, сигнал йде на узгоджений фільтр. Узгоджений фільтр — фільтр, АЧХ якого співпадає з амплітудно частотним спектром сигналу, який відбивається від радіолокаційної цілі з урахуванням розширення спектру на зміщення F_D — доплерівська частота. Далі сигнал йде до накопичувача. Накопичувач — когерентно накопичує прийнятий сигнал за підвищенням відношення сигнал шум. Далі сигнал проходить на амплітудний детектор, який виділяє огибающую прийнятого сигналу. Наступним кроком цифровий блок виявлення цілі здійснює порівняння. Перевищив порогове значення — ціль виявлено, не перевищив сигнал порогового значення — ціль не виявлено. Рівень порогу визначається відношенням сигнал/шум, який в свою чергу вираховується від імовірності хибної тривоги та імовірності вірного виявлення.

В доплерівському приймачі після змішувача визначається частота Доплера. Для нерухомих цілей частота Доплера буде дорівнювати 0, а для рухомих цілей вона буде мати значення більше 0. Відповідності до цієї частоти Доплера ми можемо визначити радіальну швидкість об'єкта, який наближається до транспортного засобу, або віддаляється. Наступним кроком, сигнальний процесор, для виявленої цілі, визначає швидкість, відстань і напрямок руху. Всі визначені параметри прямують до центрального процесора даних. Процесор обробляє параметри та виносить на дисплей всю інформацію про

					<i>PT61.464522.001 ПЗ</i>	Лист
Зм	Лис	МО док	Підпис	Дата		35

ціль, а саме: ступінь небезпеки, напрям руху, швидкість та відстань. ЦОС виступає в ролі мікроконтролер, або однокристальний мікрокомп'ютера, який забезпечує обробку даних. Прикладом можуть виступати мікрокомп'ютери Raspberry Pi, та мікроконтролери на базі процесорів ATmega, тощо.

3.2 Основні параметри та управління роботою антенної системи ФАР.

В даній РЛС для побудови ФАР використовуємо надширокосмугову антену Антрад-4

Технічні характеристики даної антени:

- Тип антени: еліптичний монополь, всенаправлена;
- Частотний діапазон: 3–10 ГГц;
- Коефіцієнт підсилення: до 1.2 дБ;
- Імпеданс антени: 50 Ом;
- КСХ: не більше 2.0:1;
- Розміри антени: 42 × 43 × 0.83 мм;
- Роз'єм: SMA (MALE, FEMALE);
- Матеріал: Rogers.

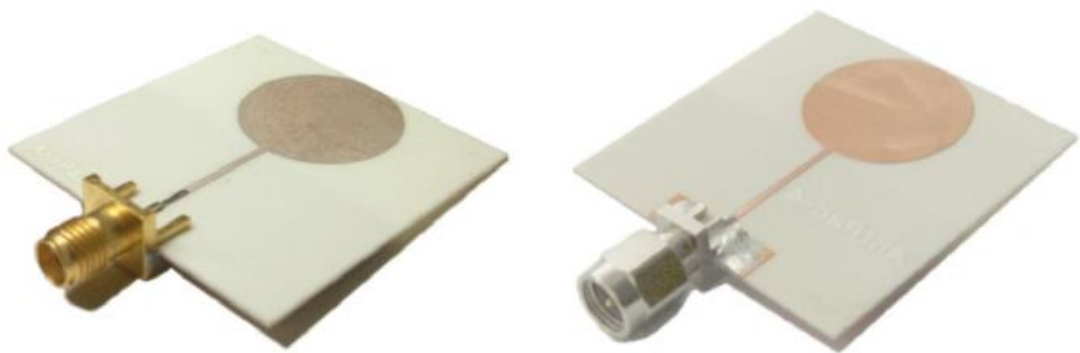


Рисунок 3.2.1 — Зовнішній вигляд антенного елемента Антрад-4

Коефіцієнт відбиття:

На рис. 3.2.2 показаний графік коефіцієнта відбиття в залежності від частоти. Червоною лінією показаний графік для моделі антени, синьою лінією — графік вимірювань. Діапазон вимірювань обмежений частотою 8 ГГц

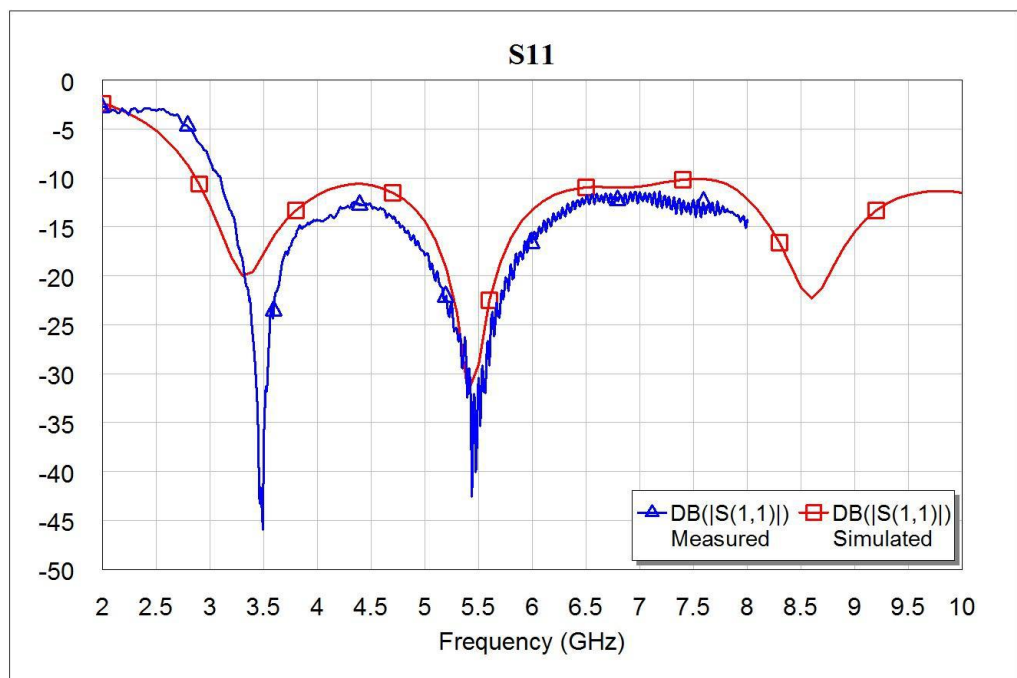


Рисунок 3.2.2 — Графік коефіцієнта відбиття

Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ):

На рис. 3.2.3 показаний графік коефіцієнта стоячої хвилі в залежності від частоти. Червоною лінією показаний графік для моделі антени, синьою — графік вимірювань. Діапазон вимірювань обмежений частотою 8 ГГц.

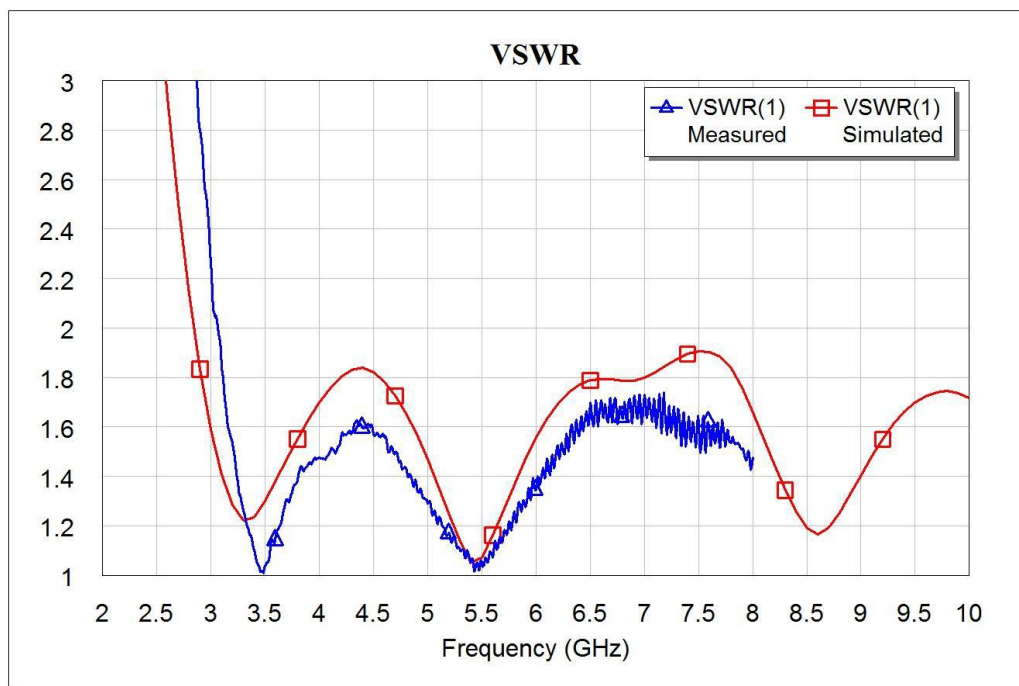


Рисунок 3.2.3 — Графік коефіцієнту стоячої хвилі

Як бачимо по рис. 3.2.3 коефіцієнт стоячої хвилі на частоті 5.5 ГГц дорівнює 1.

Імпульсна характеристика:

На рис. 3.2.4 показаний графік взаємної імпульсної характеристики системи з двох ідентичних антен в залежності від часу.

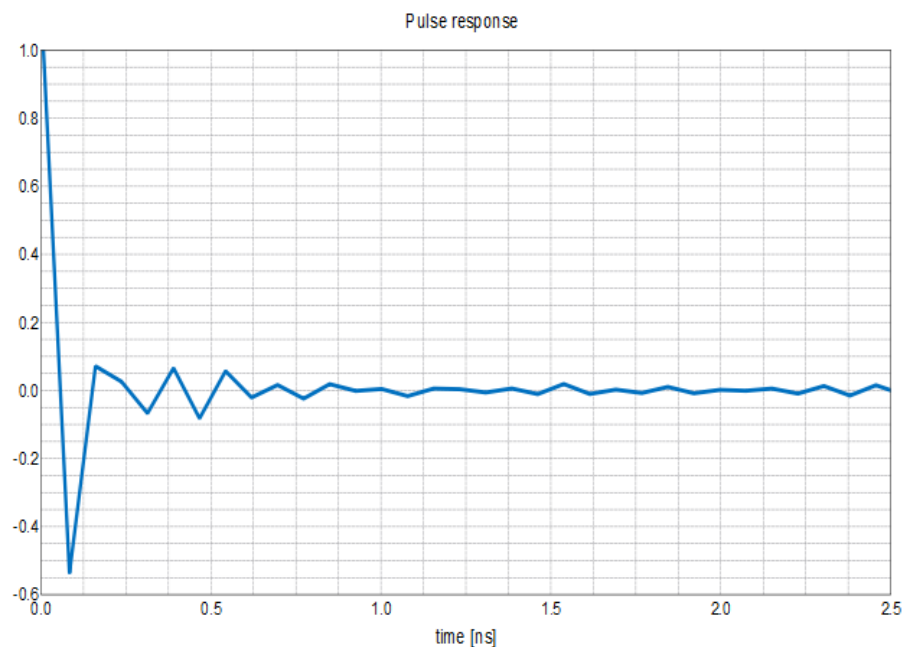


Рисунок 3.2.4 — Графік взаємної імпульсної характеристики

Діаграма спрямованості:

На рис. 3.2.5 зображений тривимірний вигляд діаграми спрямованості на частоті 2.5 ГГц

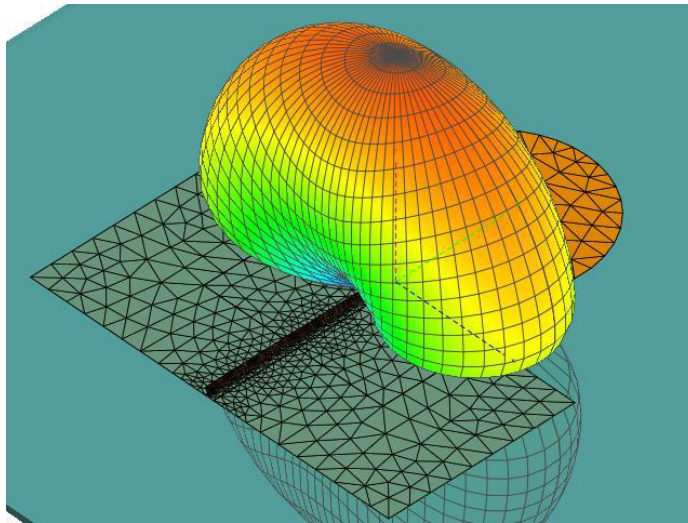


Рисунок 3.2.5 — 3D вигляд діаграми спрямованості на частоті 2.5 ГГц

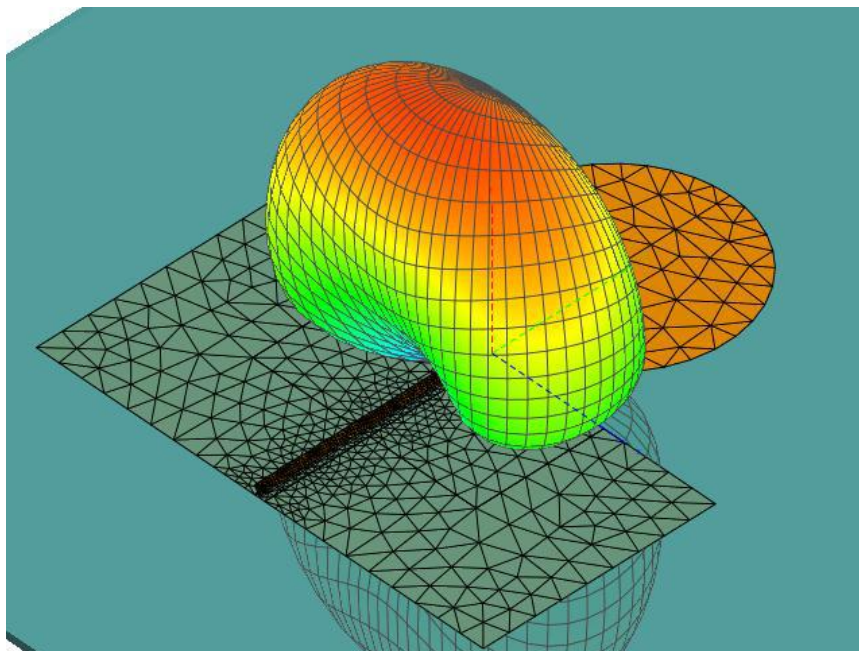


Рисунок 3.2.6 — 3D вигляд діаграми спрямованості на частоті 4 ГГц

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.464522.001 ПЗ

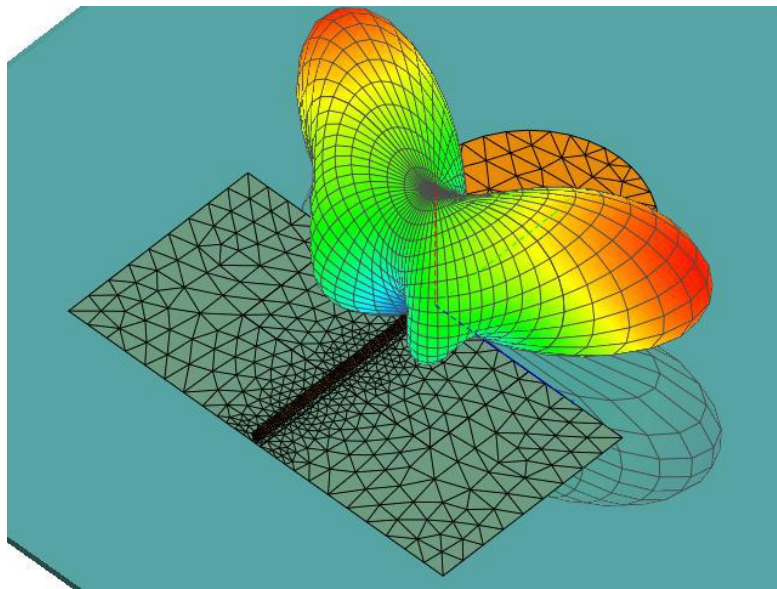


Рисунок 3.2.7 — 3D вигляд діаграми спрямованості на частоті 5.5 ГГц

На рис. 3.2.8 показаний вид нормованої діаграми спрямованості в горизонтальній площині (в децибелах) із зсувом в 5° на частотах 2.5, 4, 5, 8 ГГц відповідно.

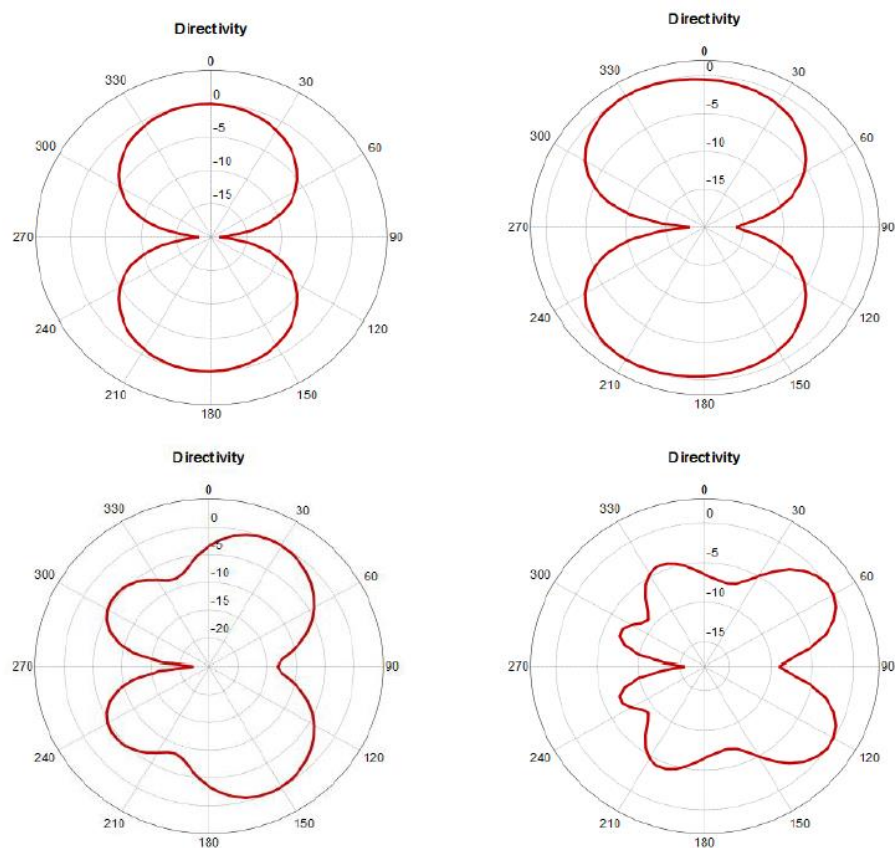


Рисунок 3.2.8 — Нормована діаграма спрямованості в горизонтальній площині для різних частот

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.464522.001 ПЗ

Лист
40

На рис. 3.2.9 показаний вид нормованої діаграми спрямованості у вертикальній площині (в децибелах) на частотах 2.5, 4, 5, 8 ГГц відповідно.

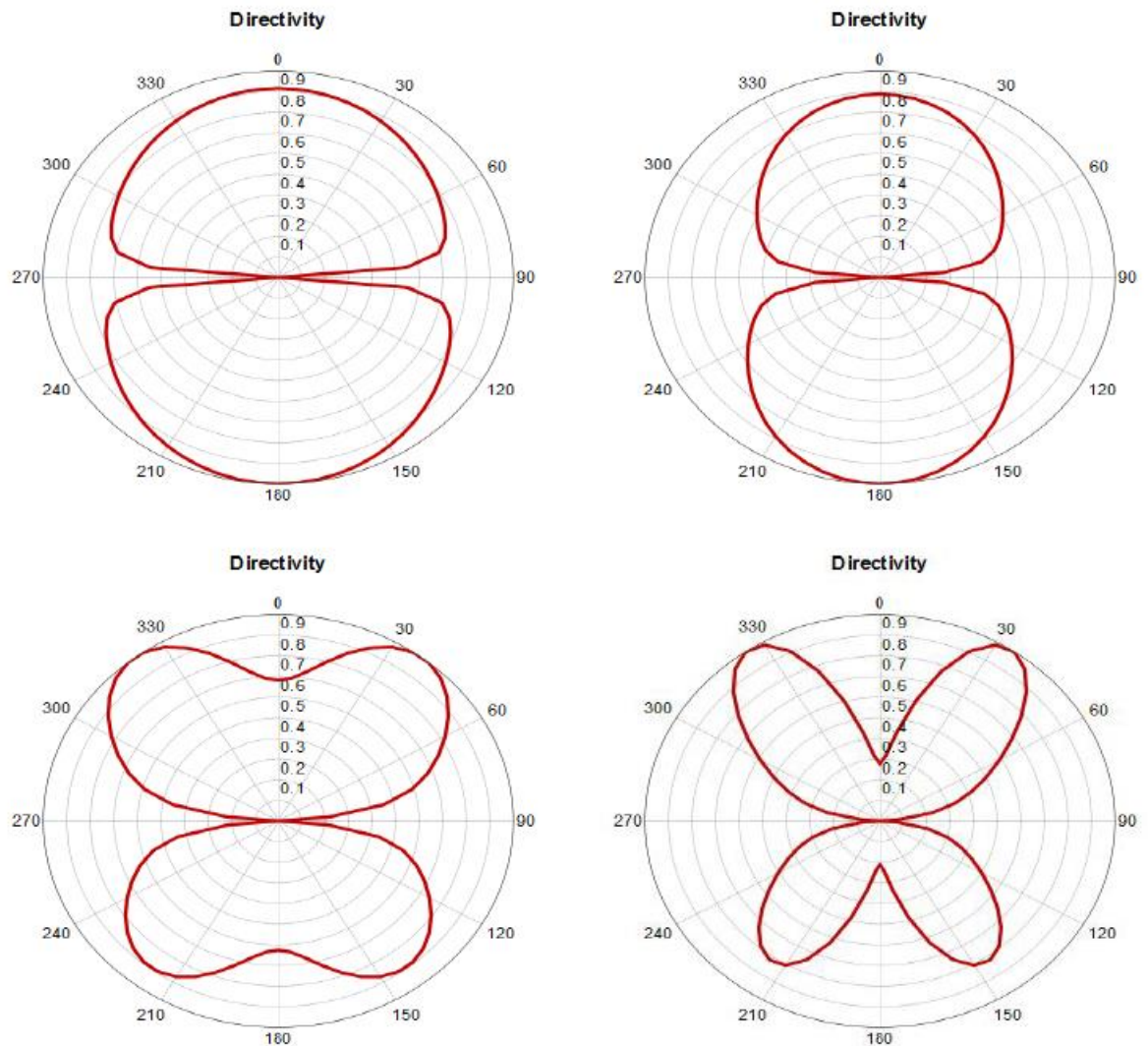


Рисунок 3.2.9 — Нормованої діаграми спрямованості у вертикальній площині на різних частотах

Антенна система типу ФАР для РЛС попередження зіткнення.

Всі розрахунки фразованої антенної решітки проводили в пакеті прикладних програм для числового аналізу MATLAB, додаток А [1].

3.3 ФАР для РЛС попередження зіткнення водного транспорту

Будуємо прямокутну антенну систему ФАР, з антенних елементів Антрад-4 в кількості 7х20 одиниць рис. 3.2.10. Відстань між елементами 0.025 м. Частота 5.5 ГГц.

Зм	Лис	№ док	Підпис	Дата

PT61.464522.001 ПЗ

Лист
41

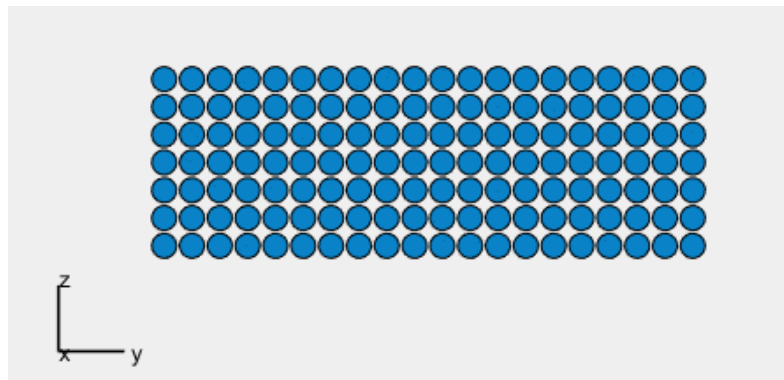


Рисунок 3.3.10 — Прямокутна ФАР

Діаграма направленості та коефіцієнт підсилення антенної решітки рис. 3.3.11

22.5 дБ = 178 раз

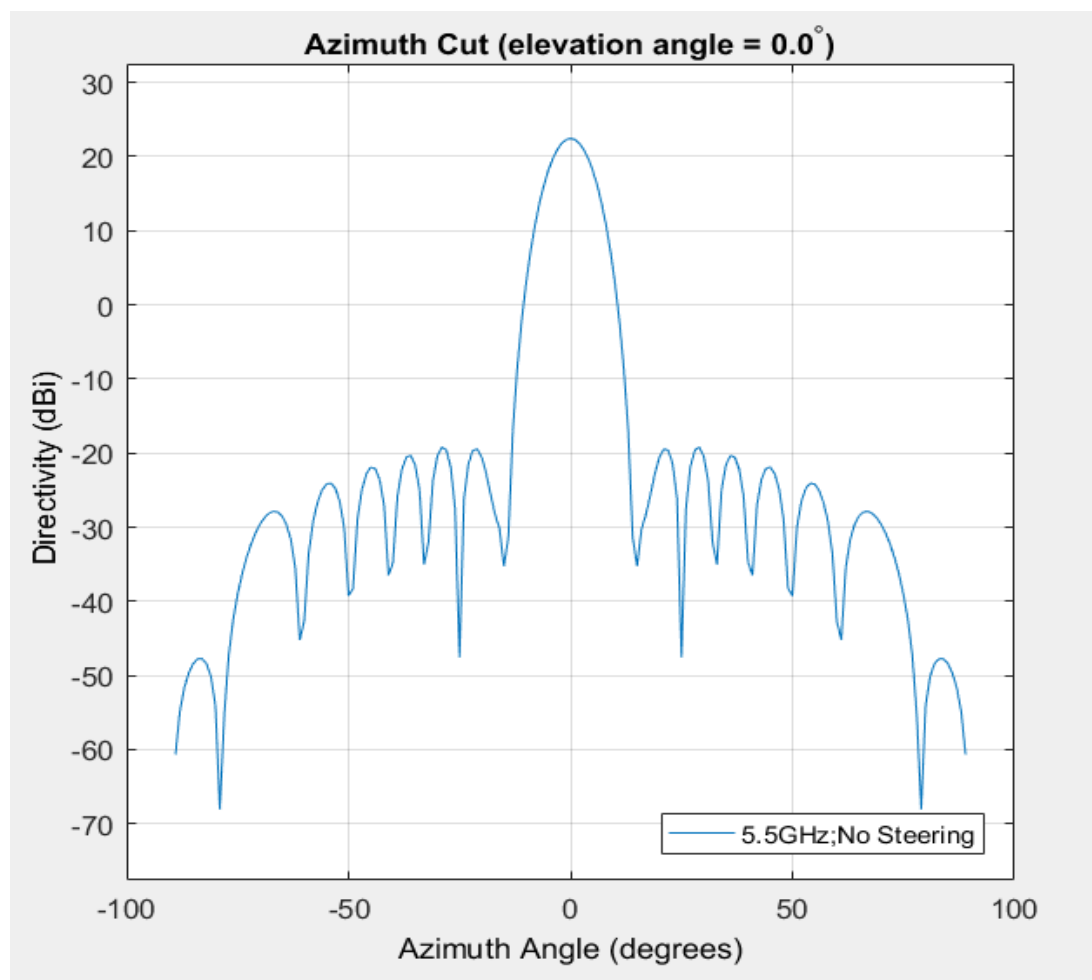


Рисунок 3.3.11— Діаграма направленості в азимутальній системі координат

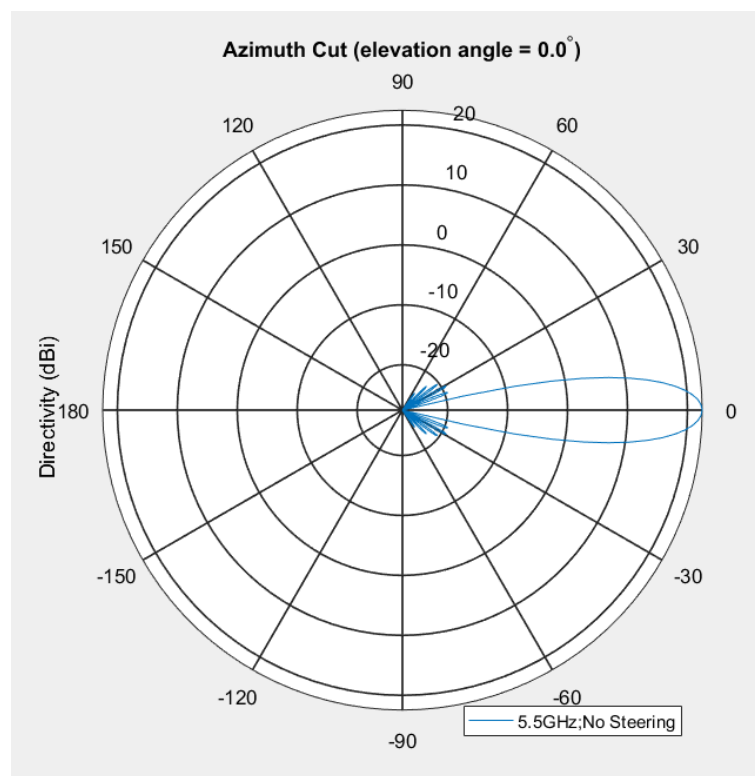


Рисунок 3.3.12 — Діаграма направленості в полярній системі координат Е площині

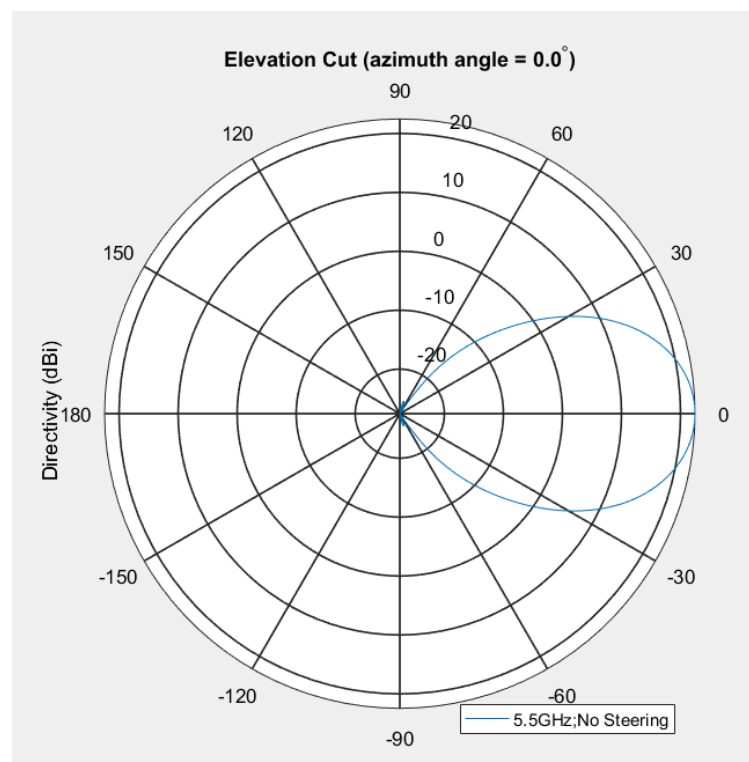


Рисунок 3.3.13 — Діаграма направленості в полярній системі координат Н площині

Зм	Лис	№ докум	Підпис	Дата

PT61.464522.001 ПЗ

Лист

43

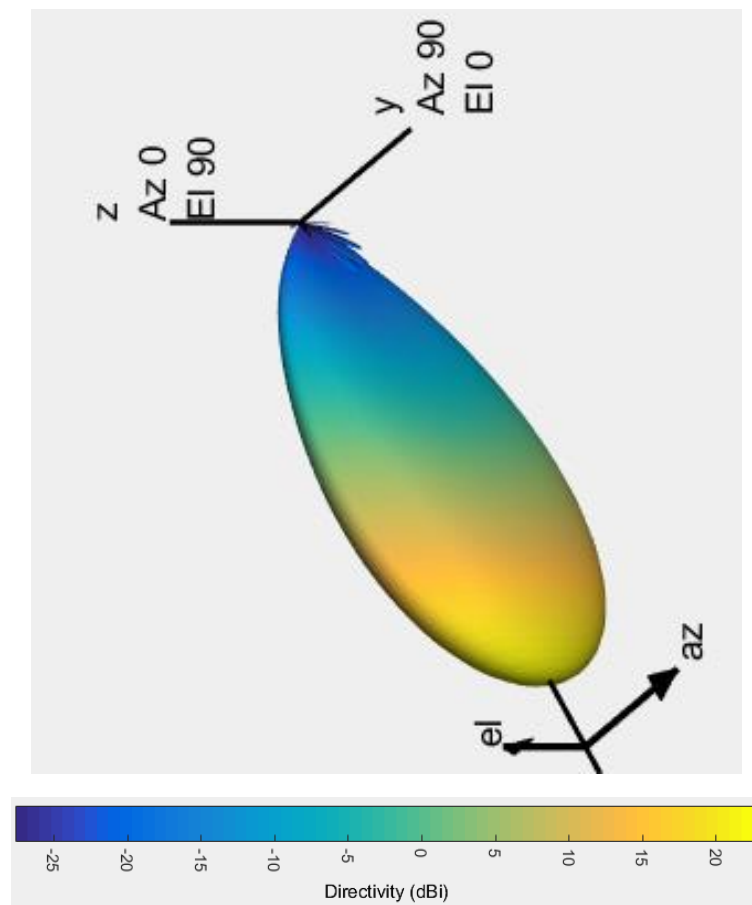


Рисунок 3.3.14 — Тривимірне зображення діаграма направленості

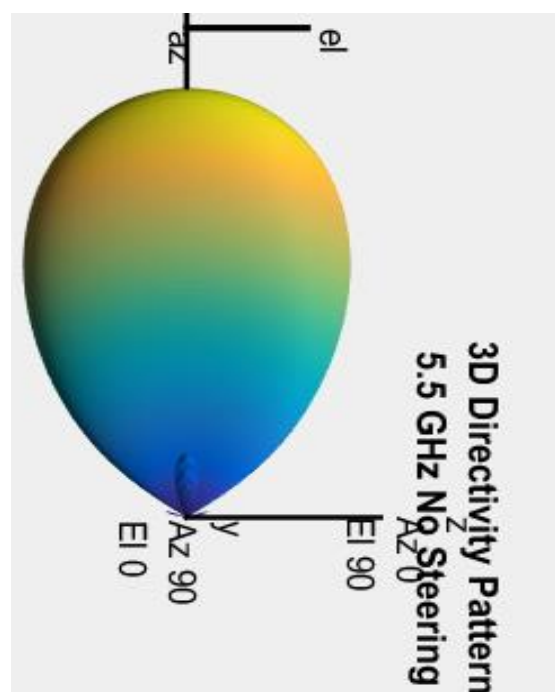


Рисунок 3.3.15 — Тривимірне зображення діаграма направленості зверху

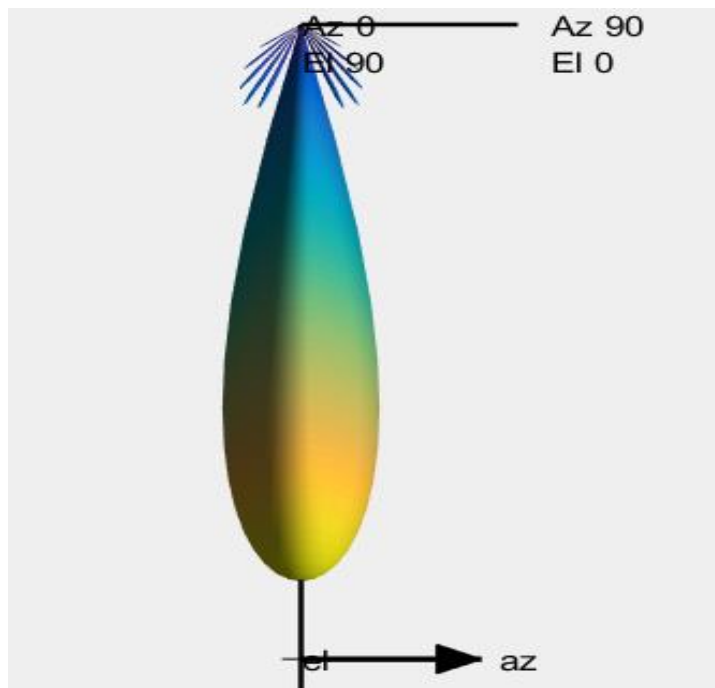


Рисунок 3.3.16 — Тривимірне зображення діаграма направленості збоку

3.4 ФАР для РЛС попередження зіткнення автомобільного транспорту

Будуємо прямокутну антенну систему ФАР, з антенних елементів Ан-трад-4 в кількості 4x7 одиниць рис. 3.4.1 Відстань між елементами 0.025 м. Частота 5.5 ГГц.

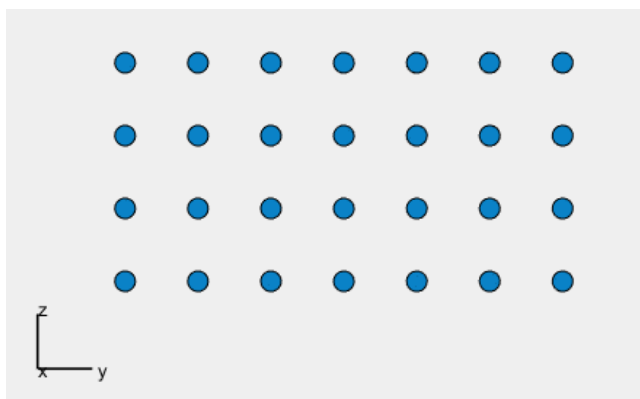


Рисунок 3.4.1 — Прямокутна ФАР розміром 4x7

Діаграма направленості та коефіцієнт підсилення антенної решітки рис. 3.4.2

$$15 \text{ дБ} = 31.6 \text{ раз}$$

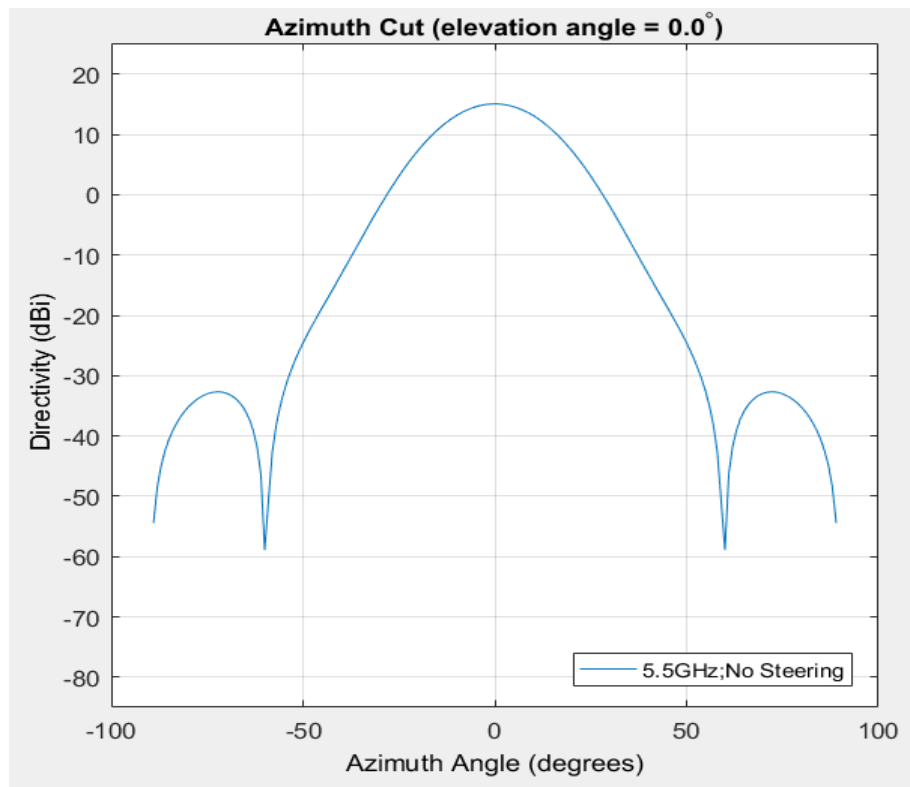


Рисунок 3.4.2— Діаграма направленості в азимутальній системі координат

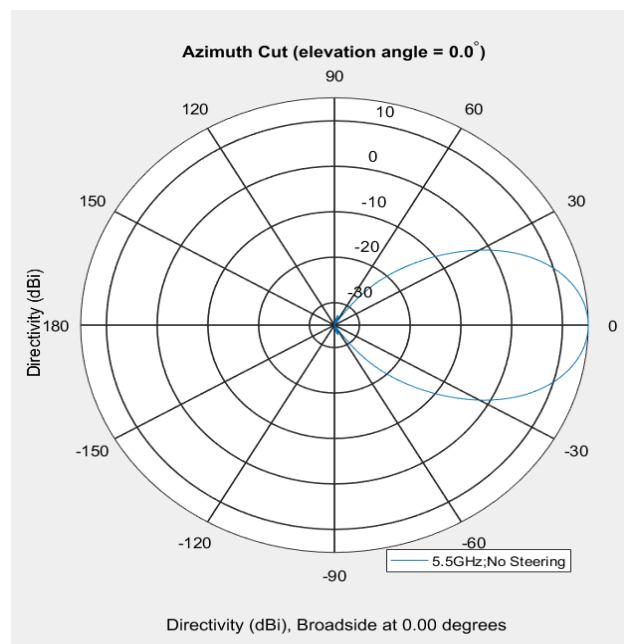


Рисунок 3.4.3 — Діаграма направленості в полярній системі координат Н площині

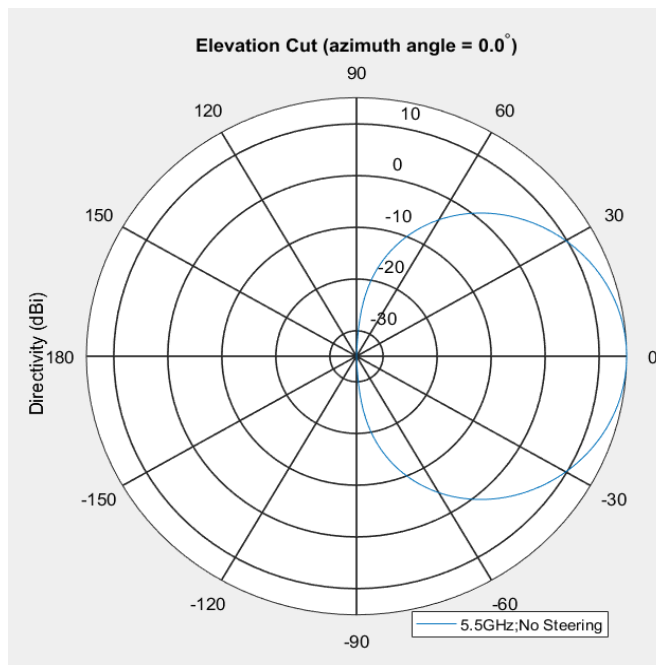


Рисунок 3.4.4 — Діаграма направленості в полярній системі координат
Н площині

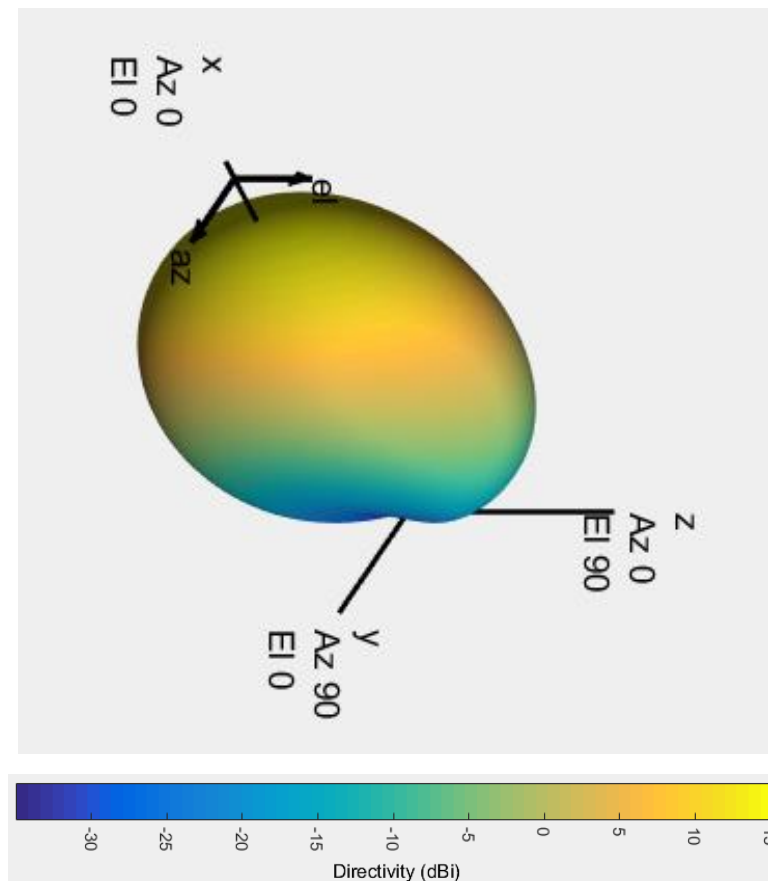


Рисунок 3.4.5 — Тривимірне зображення діаграма направленості

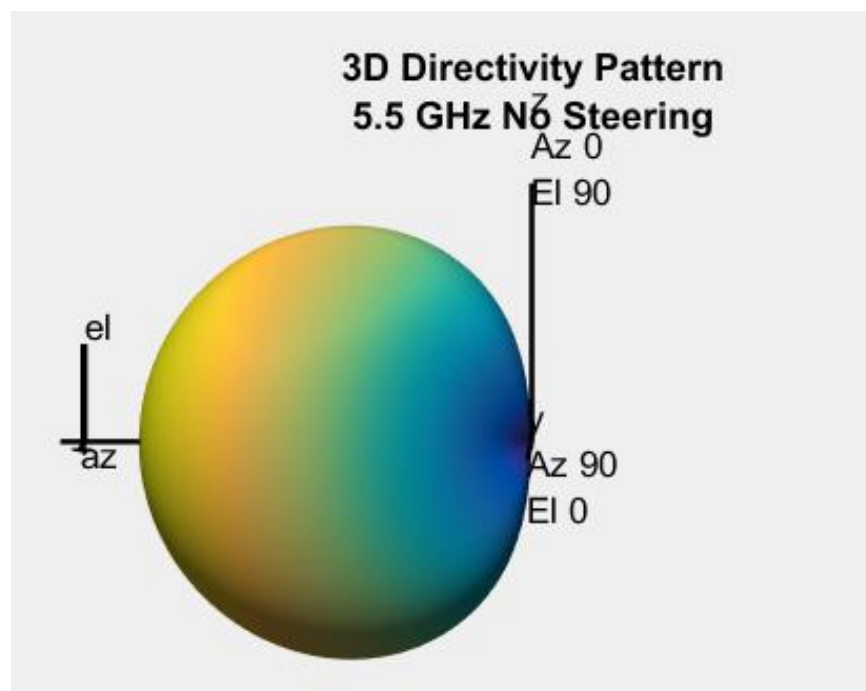


Рисунок 3.4.5 — Тривимірне зображення діаграма направленості зверху

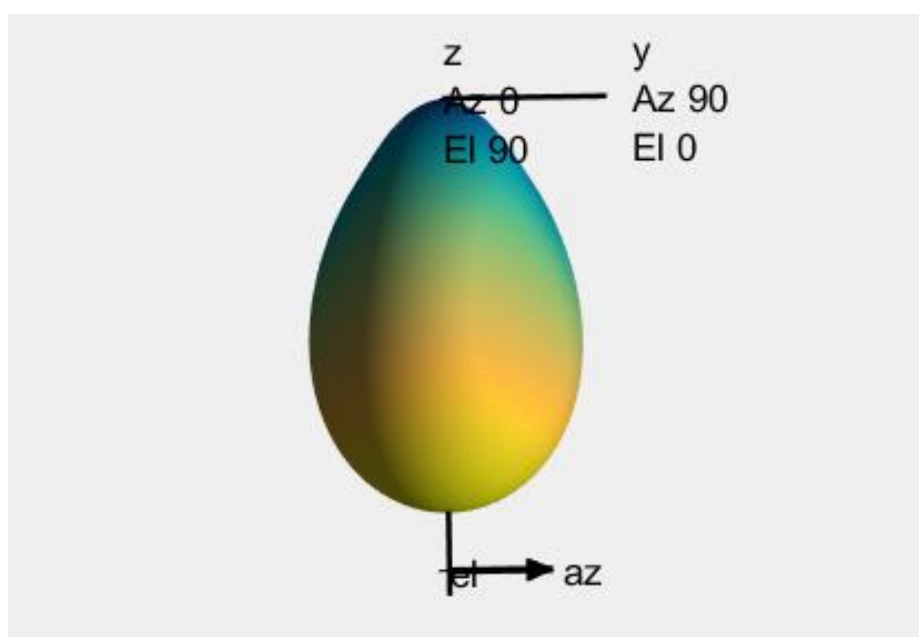


Рисунок 3.4.6 — Тривимірне зображення діаграма направленості збоку

3.5 Параметричний синтез передавача РЛС попередження зіткнення з частотою сигнала 5,5 ГГц.

Для розробки передавача РЛС попередження зіткнення на частоті 5,5 ГГц, було взято сучасний польовий транзистор з високою рухливістю електронів типу GaN HEMT — Cree CGHV59070.

Даний транзистор працює в діапазоні 4.4 – 5.9 ГГц та живиться від 50-вольтової залізниці, має широкосмугове рішення для різних радіочастотних та мікрохвильових застосувань. GaN HEMT має високу ефективність, високий коефіцієнт підсилення та широкі можливості пропускну здатності, що робить CGHV59070 ідеальним для схем різного призначення.

Typical Performance Over 4.8 - 5.9 GHz ($T_c = 25^\circ\text{C}$)								
Parameter	4.8 GHz	5.0 GHz	5.2 GHz	5.4 GHz	5.6 GHz	5.8 GHz	5.9 GHz	Units
Power Gain at 50 V	13.7	14.2	14.5	14.6	14.3	13.7	13.3	dB
Output Power at 50 V	84	93	101	102	95	84	76	W
Drain Efficiency at 50 V	55	56	57	56	54	50	48	%

Note: Measured in CGHV59070F-AMP (838269) under 100 μs pulse width, 10% duty, $P_{in} = 35.5 \text{ dBm}$ (3.5 W)

Рисунок 3.5.1 — Параметри транзистора

Symbol	Rating	Units	Conditions
V_{DSS}	150	Volts	25°C
V_{GS}	-10, +2	Volts	25°C
T_{STG}	-65, +150	$^\circ\text{C}$	
T_J	225	$^\circ\text{C}$	
I_{GMAX}	10.4	mA	25°C
I_{DMAX}	6.3	A	25°C
T_S	245	$^\circ\text{C}$	
τ	40	in-oz	
$R_{\theta JC}$	2.99	$^\circ\text{C/W}$	85°C , CW @ $P_{DISS} = 57 \text{ W}$
$R_{\theta JC}$	0.85	$^\circ\text{C/W}$	85°C , 100 μsec , 10% Duty Cycle @ $P_{DISS} = 70 \text{ W}$
T_c	-40, +150	$^\circ\text{C}$	

Рисунок 3.5.2 — Абсолютні максимальні оцінки при температурі корпусу

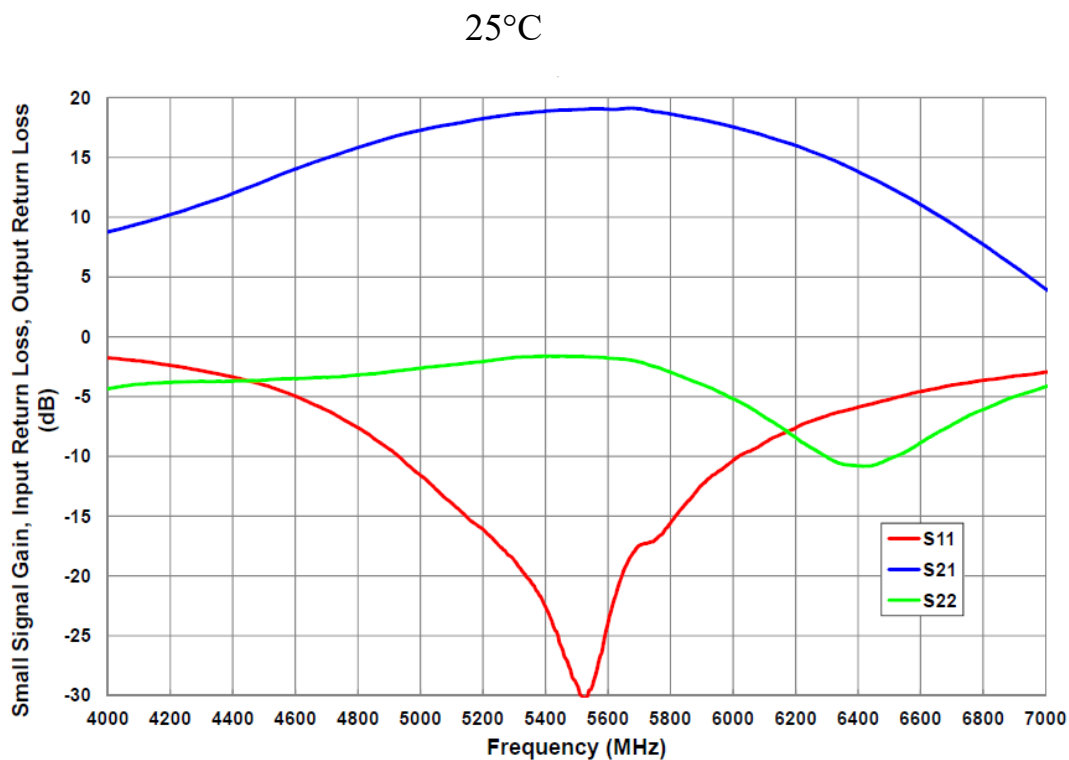


Рисунок 3.5.3 — Малі втрати та повернення сигналу від втрат CGHV59070-AMP проти частоти $V_{DD} = 50$ В, $I_{DQ} = 150$ мА

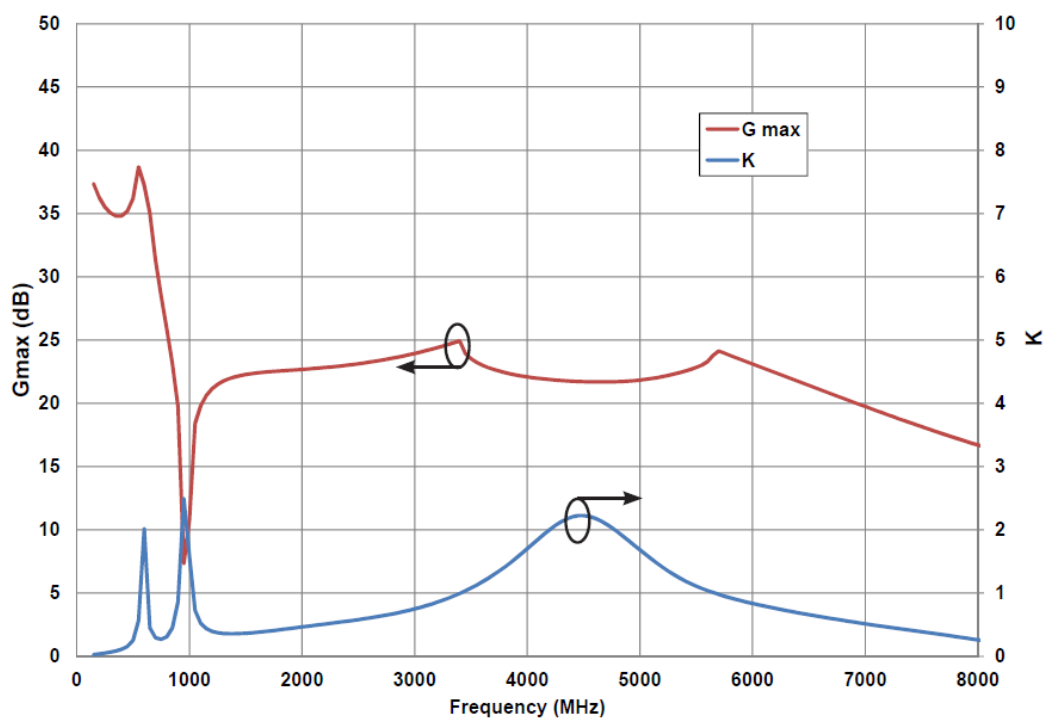


Рисунок 3.5.4 — Максимальний доступний коефіцієнт підсилення частоти $V_{DD} = 50$ В, $I_{DQ} = 150$ мА

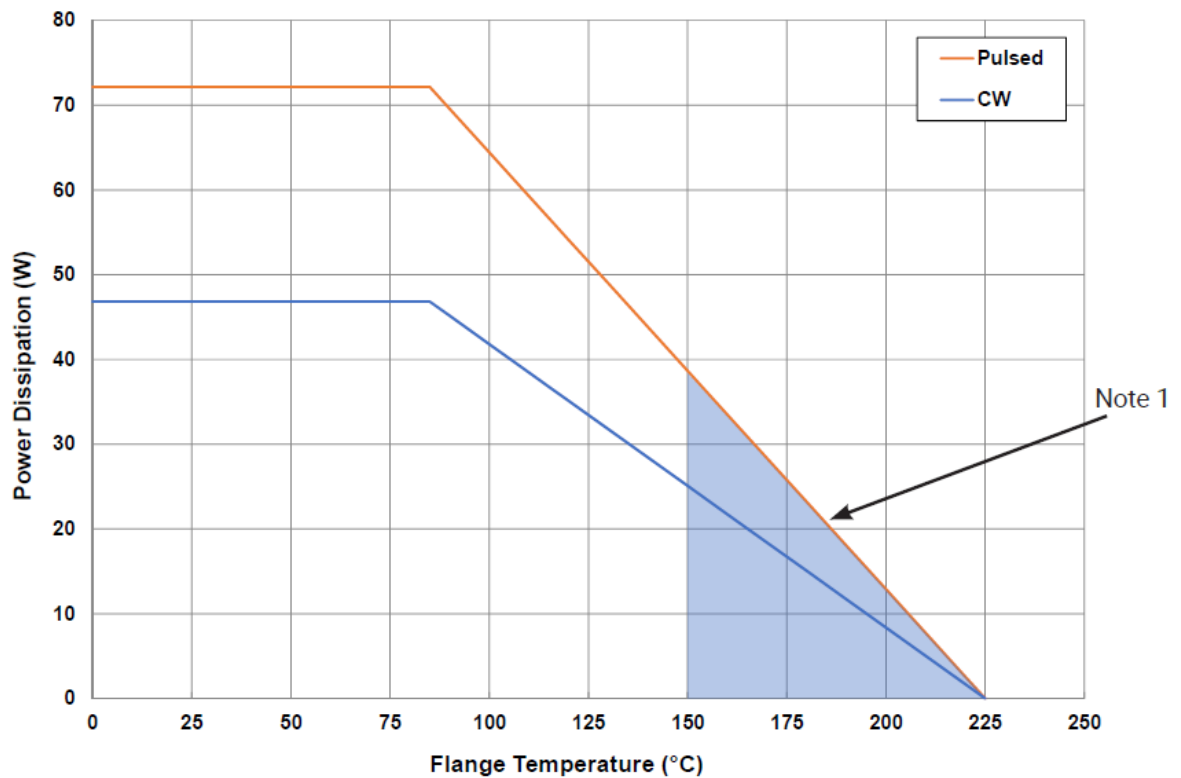


Рисунок 3.3.5 — Крива зменшення розсіювання потужності

Для забезпечення потужності 300 Вт на виході передавача, було прийняте рішення розігнати потужність за допомогою направлених відгалужувачів з перехідним затуханням 3 дБ та вхідним і вихідним опором в 50 Ом, які будуть побудовані на МСЛ.

Розрахунок направленого відгалужувача:

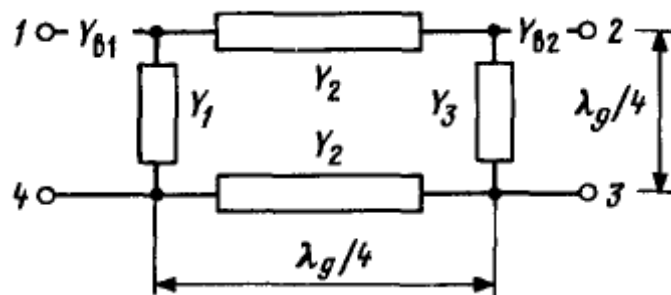


Рисунок 3.3.6 — Еквівалентна схема двошлейфного розгалужувача

Нормуємо провідність в вихідному плечі; так як

$$Y_{b1} = \frac{1}{50}, \text{ то } Y_{b2} = \frac{1}{\frac{50}{1}} = 1$$

Оскільки, $P_3 = 10^{-3/10} P_{\text{вх}} = 0.5 P_{\text{вх}} = P_2$,

$$K = \frac{P_2}{P_3} = 1$$

Застосовуючи записані вище співвідношення, знаходимо нормовані величини провідності:

$$Y_1 = 1,$$

$$Y_2 = \left[(1 + 1) \left(\frac{1}{1} \right) \right]^{1/2} = \sqrt{2},$$

$$Y_3 = 1.$$

Перейдемо до ненормованим величинам. Так як:

$$Y_1 = \frac{1}{50} \text{ Ом, то } Z_1 = 50 \text{ Ом} \rightarrow \text{в паралельній,}$$

$$Y_2 = \frac{\sqrt{2}}{50} \text{ Ом, то } Z_2 = 35.4 \text{ Ом} \rightarrow \text{в послідовній,}$$

$$Y_3 = \frac{1}{50} \text{ Ом, то } Z_3 = 50 \text{ Ом} \rightarrow \text{в паралельній,}$$

$$\text{де, } Z_{b1} = Z_{b2} = 50 \text{ Ом}$$

Для визначення геометричних розмірів відрізків ліній відповідних знайденим величинам хвильового опору можна визначити за допомогою наступних формул, обравши тип лінії, на основі якої реалізується відгалужувач. В нашому випадку беремо мікросмужкові лінії передачі.

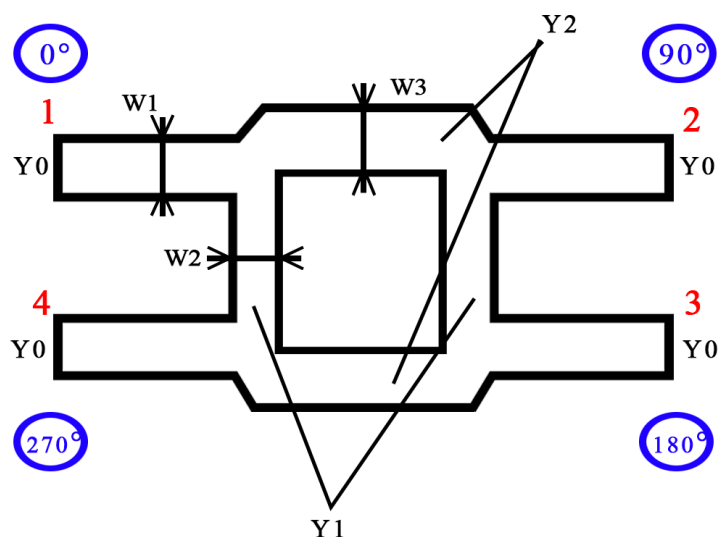


Рисунок 3.5.7 — Топологія направленного відгалужувача на МСЛ

Матеріал який будемо використовувати в розробці плати — склотекстоліт типу FR4.

Отже знаходимо ширину ліній,

$$Z_1 = \frac{P_{\text{вих}}}{\sqrt{\varepsilon} \cdot \left(1 + \frac{W_1}{d}\right)}$$

$$d = 1.5 \text{ мм}$$

$$P_{\text{вих}} = 300 \text{ Вт}$$

$$\varepsilon = 4.38$$

Таким чином, підставляємо відомі значення та за допомогою математичних перетворень знаходимо W_1 :

$$W_1 = W_3 = 2.8 \text{ мм}$$

$$W_2 = 4.5 \text{ мм}$$

Визначивши ширину МСЛ можна знайти їх довжину:

$$f = 5.5 \text{ ГГц}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = 0.05 \text{ м}$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{\text{еф}}}}$$

$$\varepsilon_{\text{еф}} = \frac{\varepsilon + 1}{2} + \frac{\varepsilon - 1}{2} + \frac{1}{\sqrt{1 + 10 \frac{d}{W}}}$$

Довжина МСЛ:

$$L = \frac{\lambda_d}{4}$$

Знаходимо довжини:

$$\varepsilon_{\text{еф}1} = \frac{\varepsilon + 1}{2} + \frac{\varepsilon - 1}{2} + \frac{1}{\sqrt{1 + 10 \frac{d}{W_1}}} = 3.36$$

$$\varepsilon_{\text{еф}1} = \varepsilon_{\text{еф}3} = 3.36$$

$$\varepsilon_{\text{еф}2} = 3.502$$

$$\lambda_{д1} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{эф1}}} = 0.027 \text{ м}$$

$$\lambda_{д1} = \lambda_{д3} = 0.027 \text{ м}$$

$$\lambda_{д2} = 0.025 = 0.025 \text{ м}$$

$$L_1 = \frac{\lambda_{д1}}{4} = 0.00675 \text{ м} = 6.75 \text{ мм}$$

$$L_1 = L_3 = 6.75 \text{ мм}$$

$$L_2 = 0.00625 \text{ м} = 6.25 \text{ мм}$$

Схема передавача можна побачити на рис. 3.5.8 та знайти у додатку Б.

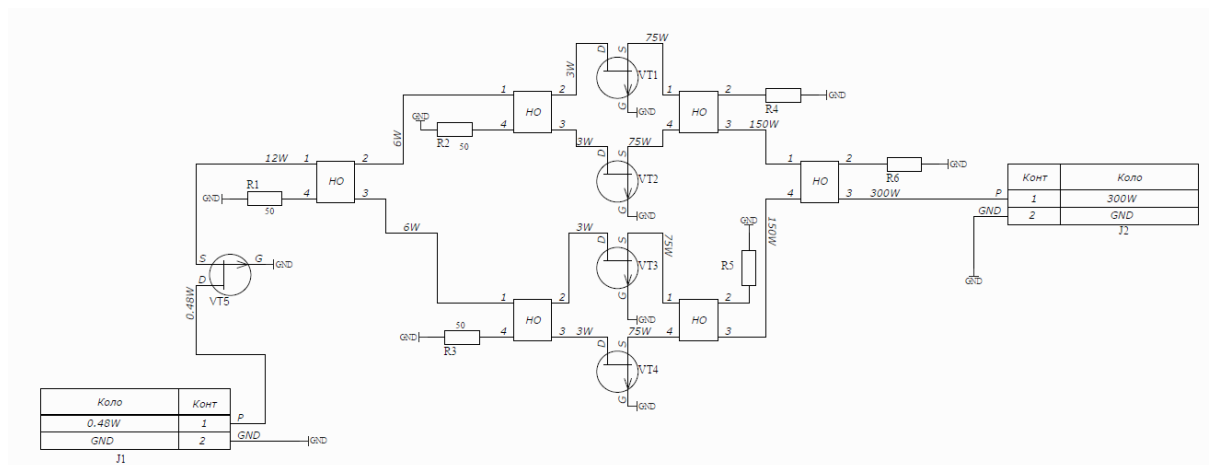


Рисунок 3.5.8 — Електрична принципова схема передавача на частоті 5.5 ГГц.

Перейдемо до обрахунку площі плати. Площа всіх резисторів:

$$S_{рез} = 13.98 + (4.2 \cdot 2) + (14.4 \cdot 3) = 65.6 \text{ мм}^2$$

Загальна площа транзисторів:

$$S_{тр} = 212 \cdot 2 \cdot 5 = 2120 \text{ мм}^2$$

Площа направлених відгалужувачів на МСЛ:

$$S_{НО} = 50 \cdot 6 \cdot 2 = 600 \text{ мм}^2$$

Площа SMA конекторів:

$$S_{sma} = 136 \cdot 2 \cdot 2 = 544 \text{ мм}^2$$

Загальна площа плати :

$$S = S_{рез} + S_{тр} + S_{НО} + S_{sma} = 3329.6 \text{ мм}^2 \approx 3500 \text{ мм}^2$$

Візьмемо плату більшим розміром, адже велика ширина доріжок 100мм
× 70мм

На рис 3.5.9 та додатку В можна побачити 3D модель друкованої плати.

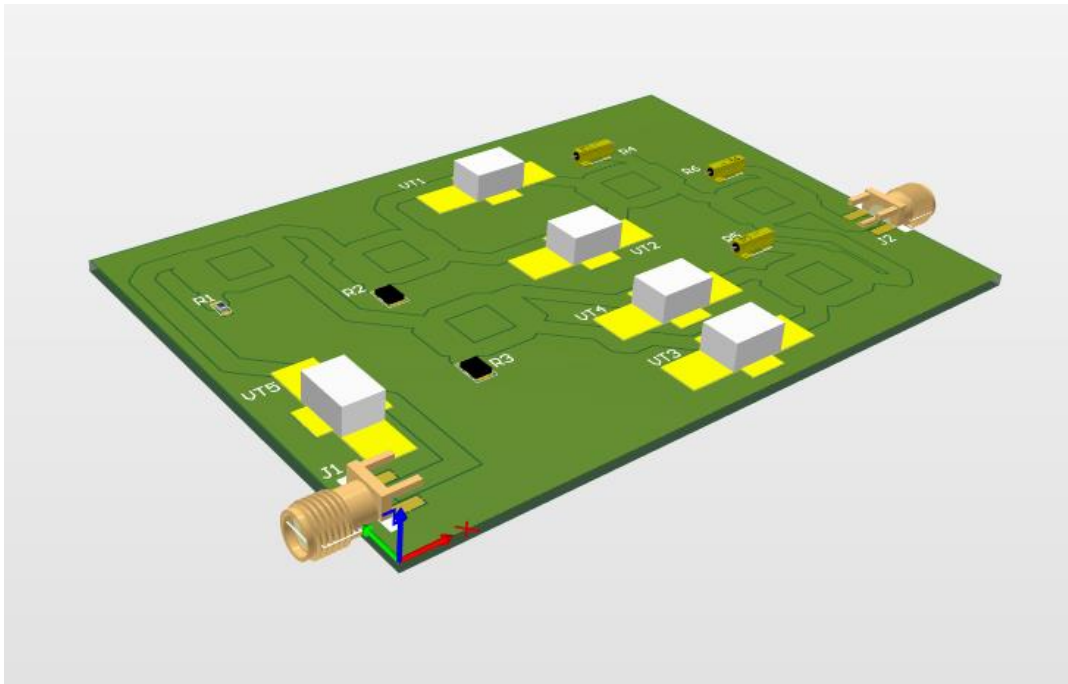


Рисунок 3.5.9 — 3D модель друкованої плати передавача на частоті 5.5 ГГц.

Висновок:

Отже було розроблено РЛС попередження зіткнення. Проведений розрахунок дальності дії, та параметрів РЛС. Зроблений вибір антенного елементу, що забезпечить здійснення поставлених задач та створення антенної решітки ФАР, такою антеною є Антрад-4. Було розраховано ФАР для автомобільних та водних транспортів. Розроблено схему електричну принципову та плату передавача, на основі сучасних транзисторів та направлених відгалужувачів, що побудовані на МСЛ, які забезпечують надійну роботу, та гарну потужність передавача.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Даний розділ повідомляє нам про основні потенційно шкідливі та небезпечні фактори котрі відіграють важливу роль при проектуванні та проведенні експериментальних досліджень параметрів РЛС попередження зіткнення. Основна увага приділяється захисту здоров'я людини від негативного впливу ЕМВ (Електромагнітне випромінювання), випромінювання радіочастотного діапазону тощо.

Також даний розділ містить інформацію стосовно розрахування необхідних заходів з електробезпеки, перелік технічних рішень та організаційних заходів з безпеки, гігієни праці, виробничої санітарії, пожежної безпеки.

4.1 Перелік основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів при виконанні досліджень.

Під час проведення вимірів є можливість зіштовхнутися з тими чи іншими шкідливими й небезпечними виробничими факторами. Розглянемо найбільш ймовірні з них.

Найперше, про що потрібно зазначити, то це про небезпеку ураження електричним струмом, котра виникає в процесі експлуатації вимірювальних приладів. Зокрема ризики ураження збільшуються при перевірці й калібруванні апаратури, під час збору та налагодження вимірювального стенду, ігнорування та порушення правил безпеки.

Найбільш шкідливими та небезпечними факторами, що знижують працездатність людини та негативно впливають на її організм, є:

- метеорологічні (температура, вологість, швидкість руху повітря);
- фізичні (рухомі машини та механізми; пересувні частини виробничого устаткування; підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена та понижена температура поверхонь устаткування, матеріалів чи повітря робочої зони; підвищений рівень шуму, вібрацій, інфразвукових коливань, іонізуючих випро-

мінювань; електромагнітних випромінювань; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла);

- хімічні (хімічні речовини різного характеру, які викликають тяжкі захворювання).

Зазвичай приміщення, в котрому проводяться вимірювальні роботи, обладнані штучним освітленням, котре при тривалому впливі може призвести до ультрафіолетової недостатності, при якій знижуються бактерицидні властивості шкіри, імунітет.

Зняття діаграми спрямованості й обробка результатів вимірів проводяться за допомогою персонального комп'ютера (ПК). Тому працівники частото піддаються впливу інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань екрана монітора, рівні яких повинні відповідати «Вимогам що до безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Окрім того, при розробці РЛС в діапазоні НВЧ, великий вплив на організм людини має електромагнітне випромінювання при інтенсивностях, що перевищує норми. Це може викликати певні функціональні й морфологічні зміни, які призводять до професійних захворювань. Зокрема це відноситься до роботи у частотному діапазоні 5,5 ГГц, через що відбувається локальний перегрів внутрішніх органів, зміни в тканинах периферичної й центральної нервової системи, захворювання очей (катаракта), зміни в складі крові, погане самопочуття (головні болі, серцево-судинні захворювання, болі в селезінці, печінці, порушення сну, підвищена стомлюваність) тощо. Між іншим, функціональні порушення, які викликані біологічною дією електромагнітних полів мають здатність накопичуватись в організмі.

Багато дослідників, розглядаючи біофізику впливу електромагнітного поля на організм людини, в першу чергу виділяють біофізику теплового впливу НВЧ, та визначають наступні основні фактори нагрівання тканини:

- втрати на струми провідності й зміщення, які збільшуються із частотою. Це, головним чином, втрати на релаксацію молекул води;

- наявність відбиттів на межі «повітря - тканина», що призводять до зменшення теплового ефекту приблизно однаково на всіх частотах;
- глибина проникнення енергії НВЧ у тканини залежить від резистивних і діелектричних властивостей тканини й від частоти. Жировий шар відіграє роль "трансформатора імпедансів" між повітряним середовищем і м'язами, зменшуючи відбиття й збільшуючи поглинену потужність у м'язовій каліні;
- сумірність розмірів частин тіла, кісток і внутрішніх органів з довжиною хвилі приводить до появи суттєвої частотної залежності потужності що поглинається;
- існування між різними шарами тіла шарів з малою діелектричною проникністю приводить до виникнення стоячих хвиль великої амплітуди. Створення таких областей спрощується у зв'язку зі значним (в 3...10 разів) зменшенням довжини хвилі в тканинах у порівнянні з вільним простором;
- температура нагрітих ділянок багато в чому визначається тепловідведенням.

Не варто забувати про специфічну дію радіохвиль НВЧ, де найбільшу зацікавленість доставляють явища, пов'язані з резонансним поглинанням електромагнітного поля білковими молекулами. Чим складнішою є біологічна речовина, тим сильніше ускладнюється процес її взаємодії з електромагнітним полем. Для прикладу, при поясненні чутливості нервових кліток, вважаються ймовірними наступні механізми:

- детектування в мембрані нервової клітини;
- вплив поля на рухливість іонів, зокрема, на їхню проникаючу здатність;
- зміна калійного градієнта внутрішньоклітинного середовища;
- упорядкування коливань іонів під впливом поля, що призводить до зміни характеру й величини чутливості рецепторів;

- вплив на власні частоти передбачуваного електромагнітного обміну, особливо ймовірного для ансамблю кліток і тим більше всього організму.

Але перш за все слід розглядати комбінований вплив, оскільки, як правило, декілька факторів діють на організм людини одночасно.

4.2 Основні технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.

4.2.1 Відповідність параметрів виробничого приміщення санітарним нормам

Для створення та забезпечення сприятливих умов праці для працівників, необхідним є дотримання санітарно гігієнічних норм та вимог. Це, зокрема, стосується параметрів виробничого приміщення, основні вимоги до яких вкладені в ДСанПіН 3.3.2.007-98 та інших нормативних документах.

Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 з розрахунку на одне робоче місце, обладнане ПК, встановлено такі норми:

- Площа – не менше 6.0 кв. м;
- Об'єм – не менше 20.0 куб. м.

Заземлені конструкції, такі як: батареї опалення, водопровідні труби, кабелі тощо, мають бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками від випадкового дотику. Обов'язковим є наявність медичної аптечки першої допомоги, переносних вогнегасників, системи автоматичної пожежної сигналізації тощо. Також загальними правилами встановлюються висота робочої поверхні робочого столу, параметри ширини і глибини для робочих столів, які мають забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля.

4.2.2 Відповідність рівня освітленості робочої зони санітарним нормам

Відповідно до загальних санітарно гігієнічних норм штучне освітлення в робочому приміщенні забезпечується світильниками з лампами денного світла типу ЛТБ-40, потужністю 40 Вт, а додаткове (індивідуальне) настільними світильниками з лампами розжарювання потужністю 60 Вт і напругою 36 В.

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
						59
Зм	Лис	ЛЮ док	Підпис	Дата		

Для освітленого часу доби краще використовувати природне освітлення через встановлені вікна.

Для розрахунку і нормування природного освітлення головною величиною, зазвичай, прийнято вважати метод коефіцієнта використання світлового потоку. Він призначений для того, аби розраховувати загальне рівномірне освітлення горизонтальних поверхонь, при відсутності затемнюючих предметів, враховуючи пряме та відбите світло.

Для визначення необхідного світлового потоку лампи пропонується формула:

$$F_L = \frac{E_{\phi} k_z S z}{N n \eta}$$

де F_L — світловий потік лампи, лм;

N — кількість ламп, од;

n — кількість ламп в світильнику, од;

η — коефіцієнт використання світлового потоку;

S — площа приміщення, м²

k_z — коефіцієнт запасу, обираємо;

z — коефіцієнт нерівномірності, обираємо.

Для того аби визначити коефіцієнт використання світлового потоку слід спершу визначити індекс приміщення i та коефіцієнти відбиття стелі ρ_n , стін ρ_c , робочої поверхні ρ_p :

$$i = \frac{ab}{h_c(a+b)}$$

де a — довжина приміщення, м;

b — ширина приміщення, м;

h_c — висота підвісу світильників над робочою поверхнею, м.

Штучне освітлення в приміщеннях регламентується нормами ДБН В.2.5.-28-2018.

4.2.3 Відповідність санітарним нормам параметрів мікроклімату в робочій зоні

Важливим для збереження здоров'я та підвищення працездатності особи є створення оптимальних метеорологічних умов, до яких входить мікроклімат повітряного середовища (температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового опромінення).

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 про «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», мікроклімат виробничих приміщень - умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

Санітарні норми поширюються на умови мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень підприємств, закладів, установ тощо, незалежно від їх форми власності та підпорядкування.

Цей документ (ДСН 3.3.6.042-99) регламентує нормативні величини оптимальних та допустимих показників мікроклімату та встановлює вимоги до методів вимірювання мікрокліматичних параметрів та їх оцінки.

Вимогами до параметрів мікроклімату є показники:

- температури повітря;
- відносної вологості повітря;
- швидкості руху повітря;
- інтенсивності теплового (інфрачервоного) опромінення;
- температури поверхні.

Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього виробничих факторів, що утворюються в процесі трудової діяльності людини.

Для нормальної життєдіяльності людини важливий парціальний тиск кисню – 21331 Па (160 мм рт.ст.) та необхідно, щоб повітря в приміщеннях містило не менше 19-20% кисню.

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист
						61
Зм	Лис	ЛЮ	ЛЮ	ЛЮ		

Для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в робочій зоні розробника, користуються ДБН В.2.5 – 67:2013.

Нормовані значення параметрів мікроклімату в робочій зоні розробника наведені в таблиці 4.2.3.

Пора року	Параметр	Нормативне значення	
		Допустиме	Оптимальне
Холодна	Температура, °C	21-25	22-24
	Вологість, %	75	40-60
	Швидкість, м/с	< 0,1	< 0,1
Тепла	Температура, °C	22-28	23-25
	Вологість, %	55 при 28° C	40-60
	Швидкість, м/с	0,1-0,2	< 0,1

Таблиця 4.2.3 — Нормовані значення параметрів мікроклімату у робочій зоні розробника.

Тож для того, аби досягти оптимальних умов робочої зони, слід пам'ятати, що мікроклімат впливає не тільки на організм людини, а й на вимірювальну техніку. Тому недотримання вимог мікроклімату може нести негативні наслідки, зокрема несправність вимірювальної техніки, через що збільшиться кількість бракованих виробів, зменшення працездатності.

4.2.4 Відповідність електробезпеки відповідним нормам.

Згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 відповідний розроблений пристрій має II клас електрозахисту (у складі готової системи).

Виконаємо розрахунок ланцюга захисного відключення фазного проводу при короткому замиканні. Струм короткого замикання можна обчислити по формулі:

$$I_{K3} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{\phi} + Z_{Tp}}$$

де $U_{\phi} = 220$ В – напруга фазного проводу;

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист 62
Зм	Лис	№ док	Підпис	Дата		

$R_0 = 2.4 \text{ Ом}$ – опір нульового проводу;

$R_\phi = 2.4 \text{ Ом}$ – опір фазного проводу;

$Z_{Tp} \cong 0,1 \text{ Ом}$ – еквівалентний опір трансформатора.

$$I_{K3} = \frac{220}{2.4 + 2.4 + 0.1} = 44.9 \text{ A}$$

Струм спрацьовування автоматів захисту з електромагнітним розчіплювачем повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання при струмі до 100А.

$$I_{cnp} = \frac{44.9}{1.4} = 32.07 \text{ A}$$

Таким чином, струм спрацьовування автомата повинен бути менше 32А. Напруга дотику на корпусах електрообладнання при його аварійному режимі роботи:

$$U_{K \max} = I_{K3} \cdot R_0 = 44.9 \cdot 2.4 = 107.6 \text{ В}$$

t (сек)	До 0.1	0.2	0.5	0.7	0.9	>1 сек. до 5 сек.
$U_{I_{\text{доп.дот}}}$	500	400	200	130	100	65

Таблиця 4.2.4

Відповідно до ПУЕ-2017 (див. таблицю 4.2.4). При часі спрацьовування автомата захисту менш 0.2с.

Із проведеного аналізу видно, що у вимірювальному залі основним захистом від поразки електричним струмом є занулення й застосування пристроїв максимального струмового захисту.

4.3 Пожежна безпека та профілактика

У вимірювальному залі знаходиться значна кількість твердих горючих речовин і матеріалів (дерев'яні меблі, пластмасові вироби, гума, папір, що поглинає покриття на стінах). Згідно ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», вимірювальний зал відноситься до пожежонебезпе-

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист
						63
Зм	Лис	ЛЮ докум	Підпис	Дата		

чних приміщень категорії В (тверді горючі й важкогорючі речовини й матеріали, речовини й матеріали, які при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним здатні тільки горіти).

Згідно із класифікацією пожежних зон (відповідно до НПАОП 40.1-1.32-01) вимірювальний зал відноситься до зон класу П-Па, що містять тверді горючі речовини, нездатні переходити у зважений стан.

Джерелами загоряння можуть бути електричні іскри, коротке замикання, перевантаження електропроводки, несправність апаратури, паління в приміщенні. Тому для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні роботи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання світильників тільки в закритому виконанні, захист електропроводки шляхом прокладки її в металевих трубах або коробках, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до ДСТУ 3675-98 та ISO 394-77 у вимірювальному залі знаходяться два вогнегасники: вуглекислотний типу «ВВ-5» і порошковий «ВП-2». «ВВ-5» розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідними дверима.

У коридорі знаходяться коробки, у яких знаходиться пожежний кран і рукав, а також знаходиться вогнегасник типу «ВХП-ІО». В обох кінцях коридору знаходяться телефонні апарати, над якими знаходяться таблички з номерами телефонів для виклику внутрішньої, а також, якщо потрібно, міської пожежної охорони.

У вимірювальному залі є план евакуації у випадку виникнення пожежі. Максимальна віддаленість робочих місць від евакуаційних виходів і ширина евакуаційних проходів. Час евакуації відповідає вимогам ДБН В 1.1-7-2016.

У приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001-2014 «Правил пожежної безпеки України».

Таким чином, у вимірювальному залі забезпечуються заходи щодо пожежної безпеки.

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
						64
Зм	Лис	ЛЮ	ЛОЖИМ	Підпис		

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розглянуто нові сучасні РЛС попередження зіткнення для наземного та водного транспорту. Було проведено дослідження РЛС попередження зіткнення, що побудовані на різних фізичних принципах, визначили переваги та недоліки різних за принципом дії системи виявлення та прийшли до висновку, що кращими з них є радіотехнічні системи виявлення. Проаналізовано РЛС виявлення рухомих об'єктів на Ефекті Доплера та їх особливості будови. Виконано розробку структурної схеми РЛС на частоті 5,5 ГГц та розраховано параметри цієї системи. Було створено дві антенні системи ФАР, одна з яких складається з 140 антенних елементів Антрад-4 та має коефіцієнт підсилення 22.5 дБ. Розроблено спеціальний передавач на частоті 5.5 ГГц, що побудований на сучасних польових транзисторах типу НЕМТ та направлених відгалужувачів, що дають змогу добитися гарної потужності на виході передавача.

					РТ61.464522.001 ПЗ	Лист
						65
Зм	Лис	№ док	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. I. Gresham, A. Jenkins, "Ultra-wideband radar: Regulations, Applications, and Challenges," Int. Microwave Symposium 2003, Philadelphia, Penn., June 2003
2. Th. Wixforth, W. Ritschel, "Multimode-Radar-Technologie für 24 GHz," auto & elektronik, vol. 3/2004, pp. 56-58
3. Бугаєнко Г.О. Електродинаміка. Теорія відносності / Г.О. Бугаєнко, М.Є. Фонкич. - К. Радянська школа, 1965. - 420с.
4. Mark. A. Richards. Fundamentals of Radar Signal. Processing. McGraw Hill Electronic Engineering, 2005.
5. Method and apparatus for range correction in a radar system. US Patent 6,317,076. Nov 13, 2001 (Ameen, et al., Eaton-VORAD Technologies, L.L.C.)
6. S. Heuel and H. Rohling, "Pedestrian classification in automotive radar systems," in Radar Symposium (IRS), 2012 13th International, may 2012, pp. 39 - 44.
7. A. Bartsch, F. Fitzek, and R. H. Rasshofer, "Pedestrian recognition using automotive radar sensors," Advances in Radio Science, vol. 10, pp. 45-55, 2012.
8. M. Heuer, A. Al-Hamadi, M. Meinecke, and R. Mende, "Requirements on automotive radar systems for enhanced pedestrian protection," in Radar Symposium (IRS), 2012 13th International, may 2012, pp. 45-48.
9. V. Chandran and S. L. Elgar, "Pattern recognition using invariants defined from higher order spectra-one dimensional inputs." IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 41, no. 1, pp. 205-212, 1993.
10. V. Chen, The Micro-Doppler Effect in Radar. London: Artech House, 2011.
11. Финкельштейн М.Н. Основы радиолокации. – М.: Радио и связь, 1973, - 496 с.

					PT61.464522.001 ПЗ	Лист
						67
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

```

h = phased.URA;
h.Size = [7 20];
h.ElementSpacing = [0.025 0.025];
h.Lattice = 'Rectangular';
h.ArrayNormal = 'x';
%Calculate Row Taper
rwind = hamming(20)';
rwind = repmat(rwind,7,1);
%Calculate Column Taper
cwind = hamming(7)';
cwind = repmat(cwind.',1,20);
%Calculate taper
wind = rwind.*cwind;
h.Taper = wind;
%Create Cosine Antenna Element
el = phased.CosineAntennaElement;
el.CosinePower = [1 1];
h.Element = el;
%Assign frequencies and propagation speed
F = 5500000000;
PS = 300000000;
%Create figure, panel, and axes
fig = figure;
panel = uipanel('Parent',fig);
hAxes = axes('Parent',panel,'Color','none');
%Plot 3d graph
fmt = 'polar';
pattern(h, F(1), 'PropagationSpeed', PS,
    'Type','directivity', ...
    'CoordinateSystem', fmt);
%Adjust the view angles
view(hAxes,[90.84000000000001 90]);
title = get(hAxes, 'title');
title_str = get(title, 'String');
%Modify the title
[Fval, ~, Fletter] = engunits(5500000000);
steeringString = 'No Steering';
title_str = [title_str sprintf('\n') num2str(Fval) ' '
    Fletter 'Hz ' ...
    steeringString];
set(title, 'String', title_str);

```